

CO-ZEB

RAPPORT FINAL DU PROJET
(1) INTRODUCTION

JUIN 2013

*Pour le compte du
Département de l'Énergie et du Bâtiment durable
SPW-DGO4*



Sommaire

1. Introduction générale.....	3
Cadre de l'étude	3
Définitions	3
Bâtiments de référence.....	4
Méthodologie.....	5
Les hypothèses retenues.....	10
2. Liste des documents.....	11

1. Introduction générale

Cadre de l'étude

La directive 2010/31/UE du Parlement européen et du Conseil du 19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments exige de la Commission un règlement délégué ((UE) n°244/2012) établissant un cadre méthodologique comparatif de calcul des niveaux optimaux en fonction des coûts des exigences minimales en matière de performance énergétique des bâtiments et éléments de bâtiments.

Les exigences minimales en matière de performance énergétique (des bâtiments et éléments de bâtiments) doivent être fixées en vue de parvenir à des niveaux optimaux en fonction des coûts. [Source : règlement délégué (UE) N°244/2012 de la Commission du 16 janvier 2012].

L'objectif de cette étude COZEB consiste donc à vérifier que les exigences actuelles, (ou déjà projetées) en matière de performance énergétique qui sont fixées en Région Wallonne, ne sont pas inférieures de plus de 15% au résultat du calcul de l'optimalité en fonction des coûts.

Le règlement précise également que les calculs doivent être réalisés pour un calcul financier et pour un calcul macro-économique ; ainsi que pour deux taux d'actualisation différents (l'un est suggéré dans les « guidelines »). De plus, pour chaque calcul et chaque taux d'actualisation, trois scénarii d'évolution du coût de l'énergie doivent être étudiés.

Lorsque tous les calculs sont réalisés, l'Etat membre doit choisir soit le calcul financier soit le calcul macro-économique, et justifier son choix.

C'est dans ce cadre que l'étude COZEB a été réalisée. Les détails concernant la méthodologie ainsi que les choix effectués sont repris ci-dessous.

Définitions

Dans un premier temps, il est nécessaire de définir les termes utilisés :

- **Le calcul financier** permet d'évaluer le coût global actualisé en incluant, outre les investissements, la TVA, les taxes, les redevances ainsi que les primes et déductions fiscales.
- **Le calcul macro-économique** évalue le coût global actualisé en considérant les investissements hors TVA, hors taxes, hors redevances et comprend également les coûts des émissions de gaz à effet de serre.
- **le taux d'actualisation :**

L'actualisation consiste à ramener sur une même base des flux financiers non directement comparables qui se produisent à des dates différentes. Le taux d'actualisation a donc une influence sur les coûts du futur mais pas sur les coûts d'aujourd'hui (comme les coûts d'investissement qui sont réalisés à l'année 0).

Une valeur (ou coût) actualisée est une valeur (coût) future ramenée à aujourd'hui. Cette valeur actualisée est fonction du temps qui la sépare de la valeur future ET du risque (futur certain ou futur incertain). La valeur actualisée d'une valeur future sera toujours plus petite que la valeur future, elle –même.

Le « temps » reflète le fait qu'un euro d'aujourd'hui vaut plus qu'un euro de demain. En effet, pour effectuer un achat équivalent, il me faudra déboursier une somme en euros plus importante demain qu'aujourd'hui. Par exemple, si aujourd'hui, je peux acheter une glace avec 1€, dans un an avec 1€ je ne pourrais avoir qu'une demi-glace.

Le « risque » reflète le fait qu'un euro certain vaut plus qu'un euro incertain. S'il existe une forte incertitude sur ce qui peut se passer dans l'année, la valeur future de 1000 € d'aujourd'hui est plus élevée que si l'année s'annonce sans souci avec une forte probabilité.

La méthode utilisée pour actualiser une valeur monétaire est la suivante: si "VA" est la valeur actuelle et "VF" la valeur correspondante n années plus tard et si le taux d'actualisation est "ra".

$$VA = \frac{VF}{(1 + ra)^n}$$

Plus le risque est grand et plus le taux d'actualisation est élevé, ce qui revient à dire que la valeur actuelle d'un coût futur est d'autant plus faible que le taux d'actualisation est plus élevé.

Pour le calcul macro-économique, les « guidelines » suggèrent un taux d'actualisation de 4% hors inflation. Le deuxième taux d'actualisation est 3% hors inflation car un taux plus bas (entre 2% et 4%) reflète plus fidèlement les avantages que les investissements éconénergétiques procurent aux occupants du bâtiment sur la durée de vie totale de l'investissement. [Source : règlement délégué (UE) N°244/2012 de la Commission du 16 janvier 2012].

Pour le calcul financier, les taux d'actualisation sont : un taux d'actualisation de 4% hors inflation et un taux d'actualisation de 6% hors inflation.

Bâtiments de référence

Afin d'obtenir des résultats « réalistes », les calculs doivent se baser sur des bâtiments existants dans le parc immobilier de la Région Wallonne.

En effet, le règlement délégué précise que les Etats membres doivent définir des bâtiments de référence pour les catégories de bâtiments suivantes :

- Habitation individuelle, désignée « **résidentiel unifamilial** » dans notre étude
- Immeubles d'appartements et immeubles d'habitation collectifs, désignés « **résidentiel immeubles d'appartements** » dans notre étude
- Immeubles de bureaux, désignés « **non résidentiel immeubles de bureaux/services** » dans notre étude
- Catégories de bâtiments non résidentiels, autres que les immeubles de bureaux, et pour lesquelles il existe des exigences de performance énergétique spécifiques, désignés « **non résidentiel bâtiments d'enseignement** » dans notre étude

Pour chaque catégorie de bâtiment, au moins un bâtiment de référence pour les bâtiments neufs, et deux bâtiments de référence pour les bâtiments existants (faisant l'objet d'une rénovation) doivent être définis.

Tous les bâtiments de référence choisis sont présentés dans les rapports sur les bâtiments de référence, et les hypothèses détaillant les choix y sont également décrites.

Pour chaque bâtiment de référence, une série de plus de 10 mesures (et groupes et variantes de mesures) a été déterminée. Pour les bâtiments existants, une variante consiste à rénover les parois

et à améliorer leurs performances énergétiques. Pour les bâtiments neufs, une variante consiste à réaliser une enveloppe thermique efficace du bâtiment mais également à la mise en place de systèmes performants. Pour chacune de ces variantes, le coût global actualisé est calculé. La comparaison des coûts de ces variantes permet de déterminer un optimum économique.

Pour chaque bâtiment de référence, un tableau tel que celui ci-dessous est réalisé. Douze coûts différents sont calculés selon les types de scénarii étudiés.

Type de calcul	Calcul Financier						Calcul Macro-économique					
Taux d'actualisation	4%			6%			3%			4%		
Scénario d'évolution du coût de l'énergie	Faible	Moyen	Elevé	Faible	Moyen	Elevé	Faible	Moyen	Elevé	Faible	Moyen	Elevé
Variante 1	Coût 1	Coût 2	Coût 3	Coût 4	Coût 5	Coût 6	Coût 7	Coût 8	Coût 9	Coût 10	Coût 11	Coût 12
Variante 2	Coût 1'	Coût 2'	Coût 3'	Coût 4'	Coût 5'	Coût 6'	Coût 7'	Coût 8'	Coût 9'	Coût 10'	Coût 11'	Coût 12'
Variante ...												

Tableau 1 : Tableau récapitulatif de tous les scénarii étudiés pour chaque variante de chaque bâtiment de référence

Méthodologie

Dans cette partie, nous détaillons la méthode de calcul du coût global actualisé.

Pour les bâtiments résidentiels, la période de calcul est de **30 ans** et est établie par les « guidelines ». Pour les bâtiments de services (et enseignement), la période de calcul est de **20 ans** et est établie par les « guidelines ».

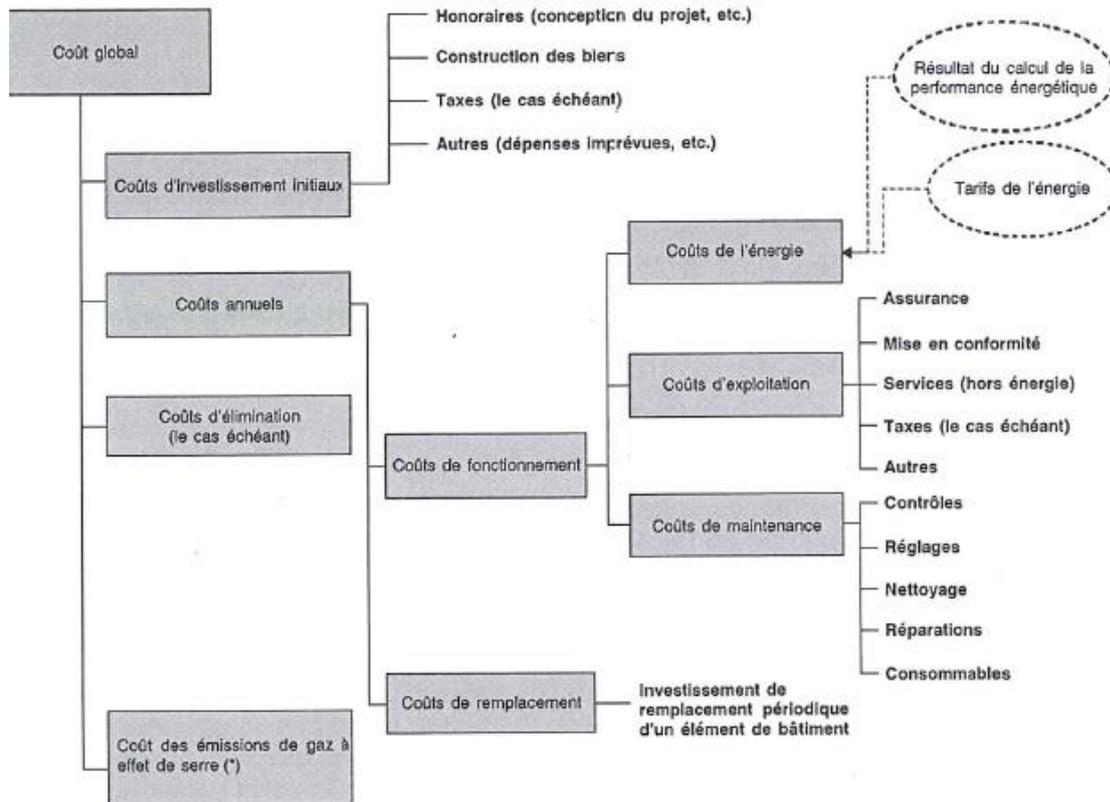
La méthode de calcul détaille ci-dessous le calcul du coût optimum pour une période de calcul de 30 ans. Pour une période de calcul de 20 ans, la méthode de calcul est identique mais on réduit le nombre d'années de calcul.

Le calcul du coût global se réalise en faisant la somme des :

- coûts investissements initiaux (à l'année 0)
- coûts d'élimination
- coûts annuels (sur 30 ans) comprenant :
 - o Coûts de fonctionnement
 - coûts d'exploitation
 - coûts de maintenance
 - coûts de l'énergie
 - o Coûts de remplacement (investissement de remplacement périodique)
- Coûts d'émissions de gaz à effet de serre (pour le calcul macro-économique), ces coûts sont donnés dans les « guidelines ».

Tous les **coûts d'investissement** et les **coûts d'élimination** utilisés pour le calcul du coût global sont repris dans le rapport reprenant les coûts d'investissements initiaux. Les sources ainsi que la méthodologie y sont décrites et détaillées.

Les primes et déductions fiscales sont celles octroyées en Région Wallonne pour l'année 2013. Elles sont fonction du type de parois ou du type de systèmes mais elles sont également fonction de la performance du système installé ou de l'isolation mise en œuvre.



(*) Pour le calcul macroéconomique uniquement

Figure 1 : méthode de calcul du coût global actualisé

[Source : règlement délégué (UE) N°244/2012 de la Commission du 16 janvier 2012].

Coût global actualisé =

$$\text{Coût (0)} + \sum_{i=1}^{29} \text{coût (i) actualisé} + \text{Coût (30) actualisé}$$

Avec, coût (0) =

$$\text{coût investissement initial} + \text{coût élimination} - \text{coût subventions}$$

Avec, coût (i) par an =

$$\text{coût de l'énergie} + \text{coût de fonctionnement, maintenance} + \text{coût de remplacement} \\ + \text{coût élimination} - \text{coût subventions}$$

Avec, coût (30) =

$$\text{coût de l'énergie} - \text{valeur résiduelle investissement} + \text{valeur résiduelle subventions} \\ - \text{valeur résiduelle élimination}$$

Le **coût de l'énergie** est calculé par an. Ce coût reprend le coût de l'énergie utilisée pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire (pas dans le cas des bureaux, écoles), les auxiliaires, l'éclairage (pas dans le cas du résidentiel) et le refroidissement auquel on retire le coût de l'énergie produite par une installation de panneaux photovoltaïques et/ou de cogénération. Donc ce coût est fonction, pour chaque poste, de sa consommation en kWh/an et du vecteur énergétique associé.

La consommation en énergie finale, pour chaque poste, est sortie du logiciel PEB 3.5.2 dans lequel est simulé le bâtiment concerné avec ses propres caractéristiques thermiques de l'enveloppe et également ses propres systèmes de production de chauffage, d'eau chaude sanitaire, de ventilation, d'éclairage... Ces consommations sont donc calculées selon la méthode PEB établie en Région Wallonne (arrêté du 10 mai 2012 : arrêté du Gouvernement wallon modifiant, en ce qui concerne la performance énergétique des bâtiments, le Code wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, du Patrimoine et de l'Energie - p. 34014 Moniteur Belge)

Et, coût de l'énergie par an [€/an] est donné par =

$$\begin{aligned}
 & \text{Consommation énergie finale de } \mathbf{chauffage} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{an}} \right] * \text{coût énergie associée} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \\
 & + (\text{Consommation énergie finale d'ECS} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{an}} \right] \\
 & - \text{production énergie finale fournie par le solaire thermique} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{an}} \right]) \\
 & * \text{coût énergie associée} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \\
 & + \text{Consommation énergie finale des } \mathbf{auxiliaires} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{an}} \right] * \text{coût électricité} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \\
 & + \text{Consommation énergie finale de l'éclairage} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{an}} \right] * \text{coût électricité} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \\
 & + \text{Consommation énergie finale du } \mathbf{refroidissement} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{an}} \right] \\
 & * \text{coût électricité} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \\
 & - \text{Production énergie finale par le } \mathbf{photovoltaïque} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{an}} \right] \\
 & * \text{coût électricité} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \\
 & - \text{Production énergie finale par la } \mathbf{cogénération} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{an}} \right] \\
 & * \text{coût électricité} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]
 \end{aligned}$$

Les éléments de bâtiments ont souvent des durées de vie inférieures à celle du bâtiment. On considère par exemple qu'une fenêtre a une durée de vie de 30 ans, c'est-à-dire qu'au bout de 30 ans, il est nécessaire de la remplacer. Les durées de vie de chaque élément de bâtiment sont reprises dans le rapport sur les coûts d'investissements initiaux.

Le **coût de remplacement** est lié à la durée de vie de l'élément de bâtiment. Sur la période de calcul, qui est de 30 ans, si un élément a une durée de vie inférieure (par exemple de 20 ans), au bout de 20 ans, il faut réaliser un nouvel investissement pour remplacer l'élément de bâtiment (figure 3). Le coût de ce remplacement nécessaire est alors identique au coût d'investissement initial de l'élément de

bâtiment. Si une prime est octroyée pour l'investissement de départ, elle le sera aussi lors du remplacement.

Dans le calcul, on tient également compte de la **valeur résiduelle** éventuelle de chaque élément de bâtiment. Cette valeur est liée à la durée de vie de l'élément de bâtiment. Si notre élément de bâtiment a dû être remplacé au bout de 20 ans, alors à la fin de la période de calcul, cet élément pourra encore, lui, « vivre » 10 ans (figure 3). L'élément qui a une durée de vie de 50 ans, pourra, au bout de 30 ans, encore « vivre » 20 ans (figure 2). La valeur résiduelle est proportionnelle à la durée de vie restante de l'élément par rapport à sa durée de vie totale.

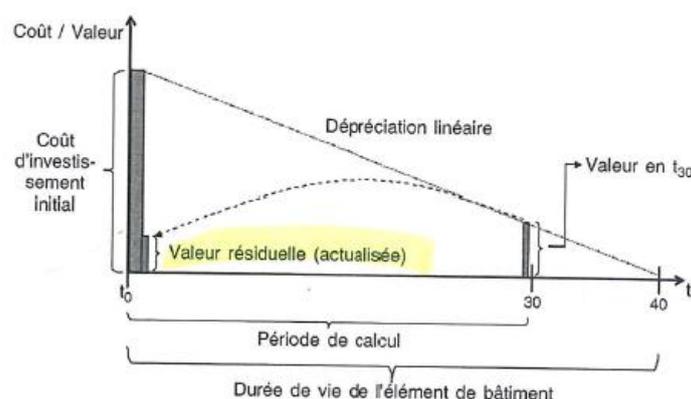


Figure 2 : calcul de la valeur résiduelle d'un élément de bâtiment dont la durée de vie est supérieure à la période de calcul [Source : règlement délégué (UE) N°244/2012 de la Commission du 16 janvier 2012].

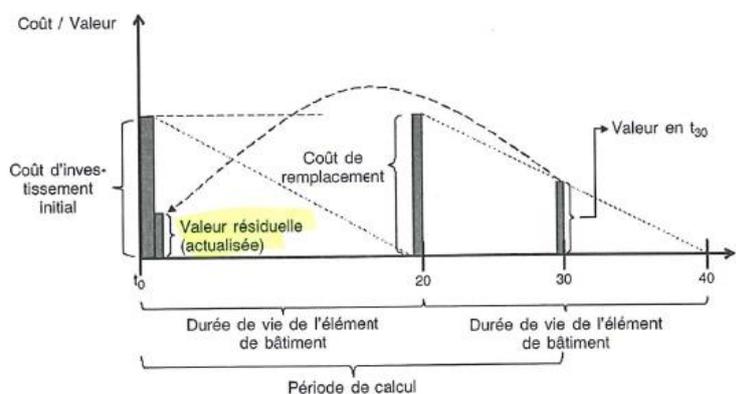


Figure 3: calcul de la valeur résiduelle d'un élément de bâtiment dont la durée de vie est inférieure à la période de calcul [Source : règlement délégué (UE) N°244/2012 de la Commission du 16 janvier 2012].

Et, valeur résiduelle de l'investissement [€] =

$$\frac{\text{coût investissement initial} + \sum_{i=1}^{29} \text{coût de remplacement}}{\sum_{i=0}^{29} \text{durée de vie}} * \text{durée de vie résiduelle}$$

Et, valeur résiduelle des subventions [€] =

$$\frac{\text{subventions initiales} + \sum_{i=1}^{29} \text{subventions lors d'un remplacement}}{\sum_{i=0}^{29} \text{durée de vie}} * \text{durée de vie résiduelle}$$

Et, valeur résiduelle de l'élimination [€] =

$$\frac{\text{coût élimin. initial} + \sum_{i=1}^{29} \text{coût élimin. lors d'un remplacement}}{\sum_{i=0}^{29} \text{durée de vie}} * \text{durée de vie résiduelle}$$

Avec, durée de vie résiduelle (pour période de calcul de 30ans) =

$$\sum_{i=0}^{29} \text{durée de vie (i)} - 30$$

Dans le calcul, on somme les durées de vie car au bout de 20 ans, on ajoute 20 ans : 20 + 20 = 40. Et au bout de 30 ans, la durée de vie résiduelle est : 40 - 30 = 10.

Pour le **calcul macroéconomique**, les prix à prendre en compte sont les prix hors taxes, hors TVA, hors redevances et sans subventions mais il faut ajouter les coûts des émissions de gaz à effet de serre (Figure 1). De sorte que la formule de calcul du coût global actualisé est revue, et les deux termes suivants sont modifiés :

Coût (i) par an =

$$\begin{aligned} & \text{coût de l'énergie} + \text{coût de fonctionnement, maintenance} + \text{coût de remplacement} \\ & + \text{coût élimination} - \text{coût subventions} \\ & + \text{coût émissions de gaz à effet de serre} \end{aligned}$$

Et, coût (30) =

$$\begin{aligned} & \text{coût de l'énergie} - \text{valeur résiduelle investissement} + \text{valeur résiduelle subventions} \\ & - \text{valeur résiduelle élimination} \\ & + \text{coût émissions de gaz à effet de serre sur l'année} \end{aligned}$$

Le coût des émissions de gaz à effet de serre est calculé en faisant la somme des émissions annuelles de gaz à effet de serre multipliées par le prix escompté. Les prix considérés dans cette étude, par tonne de CO₂, sont repris dans le Tableau 2. Ces prix correspondent à la limite inférieure de prix qui peut être acceptée, conformément aux scénarios actuels de la Commission concernant les prix prévus dans le SEQE (système d'échange de quotas d'émission).

Et lors de chaque réexamen du calcul de l'optimalité en fonction des coûts, il conviendra de prendre en compte les scénarios mis à jour.

Année	Jusqu'en 2025	De 2026 à 2030	Après 2030
Prix/tonne de CO ₂ /an	20 €	35 €	50 €

Tableau 2 : coût des émissions de gaz à effet de serre selon les années

Hormis pour le coût de l'énergie, il n'y a pas d'évolution des coûts dans le temps, pas d'augmentation ni de diminution. L'**inflation** n'est pas prise en compte dans le calcul du coût global actualisé. L'inflation serait identique pour chaque calcul, les courbes seraient décalées vers un coût global plus élevé mais l'optimum resterait le même, et les conclusions identiques.

Trois scénarii d'évolution du coût de l'énergie sont étudiés (0%, 1,75% et 3,5%). Les hypothèses concernant ces trois scénarii sont détaillées dans le rapport « coûts d'investissement initiaux ». Pour calculer le coût de l'énergie, si le taux d'évolution est de 1,75%, la formule suivante est utilisée :

$$\text{Année } (X) = \text{coût énergie année } (0) * 1,0175^X$$

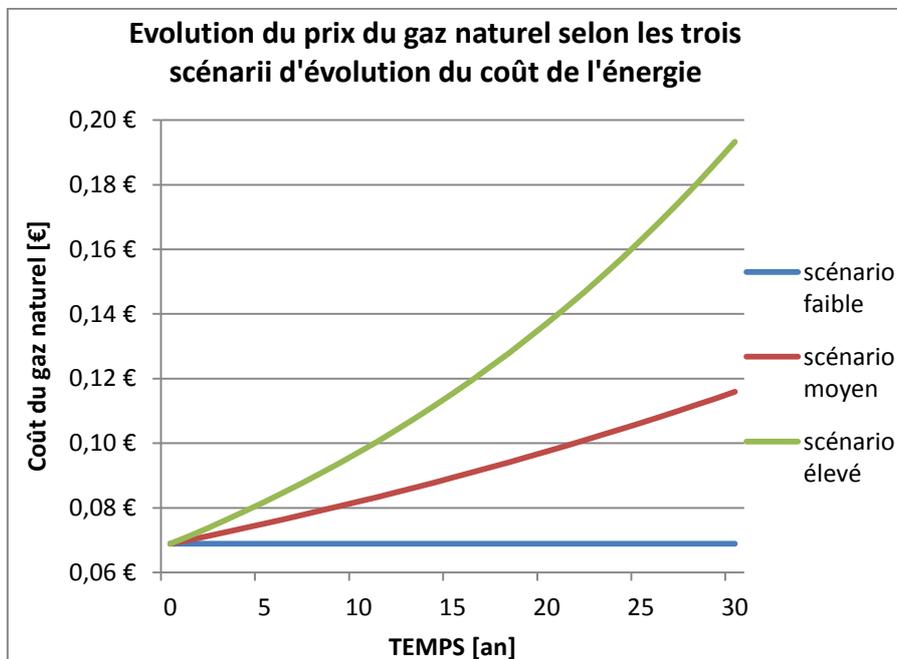


Figure 4 : évolution du coût du gaz selon les trois scénarii d'évolution du coût de l'énergie étudiés

Les hypothèses retenues

Le comité d'accompagnement du projet COZEB en Région Wallonne a décidé de retenir les hypothèses suivantes pour l'analyse du coût optimum :

- calcul macro-économique

Le calcul macro-économique permet de ne pas défavoriser les technologies qui utilisent la biomasse, technologies moins matures que les chaudières « classiques » alimentées en gaz ou en mazout.

De plus, après l'analyse des résultats, le calcul macro-économique permet d'observer plus nettement l'optimum par rapport au calcul financier.

Le calcul macro-économique permet également de prendre en compte la dimension environnementale des mesures prises par le coût des émissions de gaz à effet de serre.

- taux d'actualisation de 4%

Etant donné que les conclusions sont identiques pour le calcul du coût optimum avec un taux d'actualisation de 3% et pour le calcul du coût optimum avec un taux d'actualisation de 4%, nous avons privilégié le taux d'actualisation de 4% qui était suggéré dans les « guidelines »

- scénario d'évolution moyen du coût de l'énergie

Le scénario moyen d'évolution du coût de l'énergie a été choisi car il semble être le plus raisonnable parmi les 3 scénarii étudiés. En effet, le scénario faible est sans doute trop optimiste, tandis que le scénario élevé évolue peut-être vers des coûts de l'énergie trop élevés.

2. Liste des documents

L'étude COZEB a été réalisée en plusieurs étapes, parallèles et/ou successives. Chaque étape nécessitait un rapport détaillé avec les hypothèses formulées, les résultats obtenus, les décisions prises. Le rapport global comprend donc, près de 500 pages qui sont réparties comme suit :

Numéro du document	Titre du document	Nombre de pages	Date de remise
1	Introduction	11	mai 2013
2	Définition des bâtiments de référence pour le résidentiel	83	avril 2013
3	Définition des bâtiments de référence pour les écoles et pour les bureaux/services	74	avril 2013
4	Coûts d'investissements initiaux	68	mai 2013
5	Résultats pour le résidentiel	123	mai 2013
6	Résultats pour les écoles	55	mai 2013
7	Résultats pour les bureaux/services	66	mai 2013
8	Conclusion générale	16	mai 2013

Tableau 3 : liste des documents qui composent le rapport de l'étude COZEB

Cette liste de documents reprend donc l'ensemble de l'étude COZEB, et se lit dans l'ordre du tableau ci-dessus afin de bien comprendre les hypothèses du projet, les résultats obtenus et les conclusions.

CO-ZEB

RAPPORT FINAL DU PROJET (2) DEFINITION DES BATIMENTS DE REFERENCE POUR LE RESIDENTIEL

JUIN 2013

*Pour le compte du
Département de l'Energie et du Bâtiment durable
SPW-DGO4*



Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE

LES BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS

1. Définition des bâtiments résidentiels de référence.....	6
1.1. Bâtiments résidentiels existants de référence.....	6
1.1.1. La rénovation énergétique et durable des logements (étude réalisée par l'UCL)	6
1.1.2. L'étude « TABULA »	9
1.1.3. Données pour les bâtiments résidentiels existants	10
1.1.4. Bâtiments résidentiels existants de référence	15
1.2. Bâtiments résidentiels neufs de référence	24
1.2.1. Données pour habitations unifamiliales	24
1.2.2. Données pour les immeubles d'appartements	26
1.2.3. Bâtiments résidentiels neufs de référence	26
2. Bâtiments résidentiels existants.....	32
2.1. Caractéristiques thermiques des quatre scénarii étudiés	32
2.2. Liste des groupes de mesures envisagés	32
2.3. Liste des variantes.....	33
2.3.1. Maison urbaine moyenne début 20 ^{ème} siècle – ME1	33
2.3.2. Maison 4 façades (maison de type lotissement des années 80) – ME2	34
2.3.3. Appartements dans un bâtiment divisé en plusieurs unités de logement – AE1	36
2.3.4. Immeuble d'appartements, type « Etrimmo », années 60-70 – AE2.....	39
2.4. Hypothèses de simulation PEB et caractéristiques des systèmes des habitations existantes (ME1 et ME2).....	40
2.4.1. Nœuds constructifs	40
2.4.2. Etanchéité à l'air	40
2.4.3. Inertie	41

2.4.4 Ombrage.....	42
2.4.5 Protections solaires	42
2.4.6 Ventilation.....	42
2.4.7 Chauffage	42
2.4.8 Eau chaude sanitaire	43
2.5 Hypothèses de simulation PEB et caractéristiques des systèmes des immeubles d'appartements existants (AE1 et AE2).....	43
2.5.1 Nœuds constructifs	43
2.5.2 Etanchéité à l'air.....	43
2.5.3 Inertie	44
2.5.4 Ombrage.....	45
2.5.5 Protections solaires	45
2.5.6 Ventilation.....	45
2.5.7 Chauffage	45
2.5.8 Eau chaude sanitaire	46
3. Bâtiments résidentiels neufs.....	47
3.1. Liste des groupes de mesures envisagés	47
3.2. Les mesures envisagées	47
3.2.1 Systèmes envisagés pour les habitations neuves (MN1 et MN2)	48
3.2.2 Systèmes envisagés pour l'immeuble d'appartements neuf (AN).....	48
3.3 Liste des variantes.....	50
3.3.1 Maisons unifamiliales neuves (MN1 et MN2)	50
3.3.2 Immeuble d'appartements neuf (AN).....	51
3.4 Hypothèses de simulation PEB et caractéristiques des systèmes des habitations neuves	53
3.4.1 Nœuds constructifs	53
3.4.2 Etanchéité à l'air.....	53
3.4.3 Inertie	53
3.4.4 Ombrage.....	53
3.4.5 Protections solaires	53
3.4.6 Ventilation.....	53
3.4.7 Chauffage	54
3.4.8 Eau chaude sanitaire	56
3.4.9 Panneaux Photovoltaïques.....	57
3.4.10 Panneaux Solaires Thermiques	57
3.5 Hypothèses de simulation PEB et caractéristiques des systèmes de l'immeuble d'appartements neuf	57

3.5.1 Nœuds constructifs	57
3.5.2 Etanchéité à l'air	57
3.5.3 Inertie	58
3.5.4 Ombrage	58
3.5.5 Protections solaires	58
3.5.6 Ventilation	58
3.5.7 Chauffage	59
3.5.8 Eau chaude sanitaire	61
3.5.9 Panneaux Photovoltaïques.....	61
3.5.10 Panneaux Solaires Thermiques	61

ANNEXES

Annexe A : Plans de l'habitation ME1	62
Annexe B : Plans de l'habitation ME2.....	64
Annexe C : Plans de l'habitation MN1	65
Annexe D : Plans de l'habitation MN2.....	68
Annexe E : étanchéité à l'air des bâtiments existants (ME1 et ME2).....	70
Annexe F : Plans de l'immeuble (AE1)	74
Annexe G : Plans de l'immeuble (AE2)	78
Annexe H : Plans de l'immeuble (AN).....	79
Annexe I : étanchéité à l'air des bâtiments existants (AE1 et AE2).....	82

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'article 2 du Règlement délégué (UE) n°244/2012 de la Commission du 16 janvier 2012 précise qu'il «*incombe aux Etats membres de fixer des exigences minimales en matière de performance énergétique des bâtiments et éléments de bâtiments. Les exigences doivent être fixées en vue de parvenir à des niveaux de performance optimaux en fonction des coûts.* »

Pour les bâtiments existants, la situation actuelle en Région Wallonne se traduit par des exigences minimales à respecter au niveau de la performance énergétique des éléments de bâtiments (U_{max}). L'analyse « coût optimum » se base sur les exigences de l'année 2012.

Pour les nouvelles constructions, les exigences en vigueur portent à la fois sur le niveau d'isolation (niveau K), la performance énergétique globale (niveau E_w) et la surchauffe (dans le cas d'unités résidentielles). L'ensemble de ces critères est considéré pour ce type de bâtiment.

Conformément à l'annexe III de la directive 2010/31/UE et à l'annexe I, partie 1, du règlement, les Etats membres sont tenus de définir des bâtiments de référence aux fins de la méthode de calcul de l'optimalité en fonction des coûts.

La finalité essentielle d'un bâtiment de référence est d'être représentatif du parc immobilier type et moyen dans un certain Etat membre car il est impossible de calculer l'optimalité en fonction des coûts pour chaque bâtiment individuel. Aussi les bâtiments de référence définis doivent-ils refléter aussi fidèlement que possible le parc immobilier national réel, de sorte que la méthode de calcul donne des résultats significatifs.

Un ensemble de bâtiments de référence représentatif du parc immobilier wallon a donc été défini. Ces constructions sont scindées en deux types : bâtiments existants et bâtiments neufs (satisfaisant aux critères PEB en vigueur depuis juin 2012 en Région Wallonne).

Le présent document regroupe l'ensemble des hypothèses utilisées afin de définir les bâtiments de référence pour le secteur résidentiel, et ce pour les affectations suivantes:

1. habitation unifamiliale ;
2. immeuble d'appartements.

Ce document reprend pour chaque catégorie de bâtiment :

- la justification des choix réalisés pour les bâtiments de référence et la description de chacun des bâtiments de référence : leurs caractéristiques générales, leur géométrie, les types de parois, les équipements mis en place,...
- les mesures-groupes-variantes étudiées pour chaque bâtiment et leurs justifications ;
- les hypothèses et précisions sur l'encodage de chaque bâtiment dans le logiciel PEB.

LES BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS

1. DÉFINITION DES BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS DE RÉFÉRENCE

Cette première partie rassemble les justifications des choix effectués pour les bâtiments de référence qui sont classifiés comme suit :

- habitations individuelles : 2 habitations existantes et 2 habitations neuves ;
- immeubles d'appartements : 2 immeubles existants et 1 immeuble neuf.

1.1. BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS EXISTANTS DE RÉFÉRENCE

Le choix des bâtiments résidentiels existants s'est réalisé sur base de deux études :

- « *La rénovation énergétique et durable des logements wallons - Analyse du bâti existant et mise en évidence de typologies de logements prioritaires* », réalisée en 2008 par Architecture & Climat (UCL). Cette étude est spécifique à la Région Wallonne ;
- TABULA : « *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment* ». Cette étude est spécifique à la Belgique.

Nous avons croisé les résultats de ces 2 études pour déterminer nos bâtiments types. L'avantage principal de l'étude de l'UCL est qu'elle est propre à la Région wallonne, l'étude TABULA est quant à elle très complète et précise en terme d'enveloppe (composition de paroi, étanchéité à l'air...).

1.1.1. LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE ET DURABLE DES LOGEMENTS (ÉTUDE RÉALISÉE PAR L'UCL)

Cette étude a permis de déterminer les typologies prioritaires dans le cadre de la rénovation énergétique. D'autre part, l'étude a permis de montrer la faible qualité énergétique des logements wallons existants, constat qui tend à confirmer les statistiques émanant de la certification énergétique des bâtiments existants et des procédures d'avis énergétique.

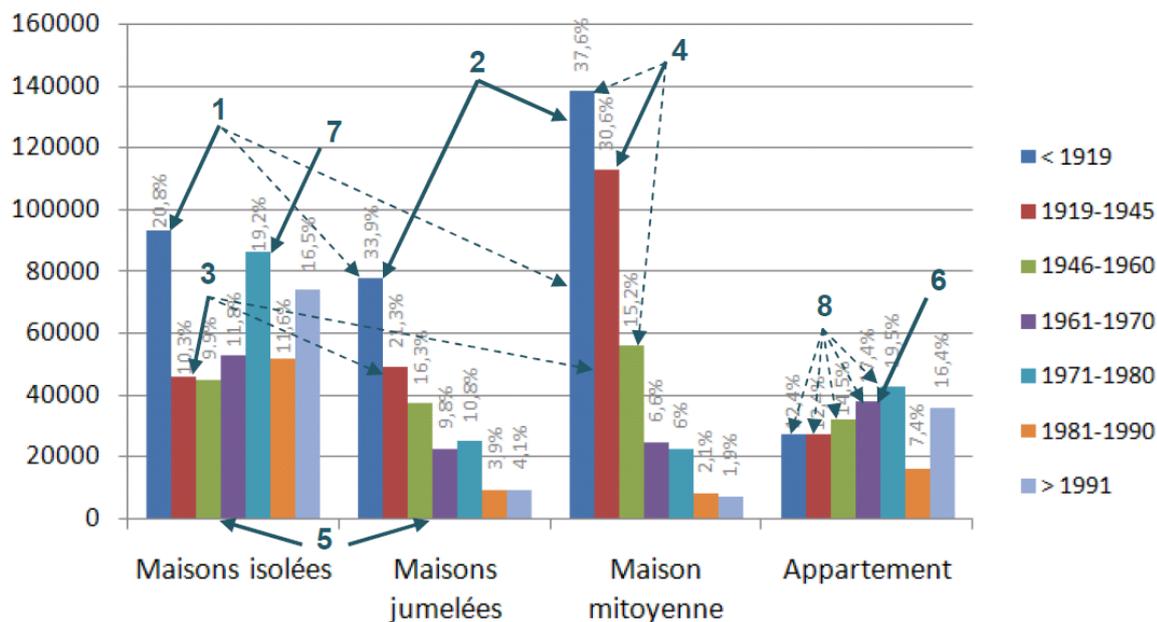
La qualité énergétique d'un bâtiment se détermine principalement sur base du critère de l'isolation de l'enveloppe. Cependant, définir des catégories des logements uniquement sur base de ce critère est fort subjectif (isolation cachée, sondage nécessaire, rénovation...).

Dès lors, nous nous sommes orientés vers une caractérisation de « typologies types » qui permet une plus large représentativité du parc de logements wallons. Les caractéristiques sont les suivantes :

- âge ;
- taille ;
- configuration ;
- localisation ;
- certaines caractéristiques constructives ;
- type d'occupation ;
- ...

Ces caractéristiques sont liées entre elles et interdépendantes. Le croisement des graphiques suivants et l'observation sur le terrain ont permis de mettre en évidence huit typologies prioritaires. Ces catégories représentent plus ou moins 76% des logements construits avant 1991. Il est donc

pertinent de se baser sur les résultats de cette étude pour choisir les bâtiments **résidentiels existants** de référence.

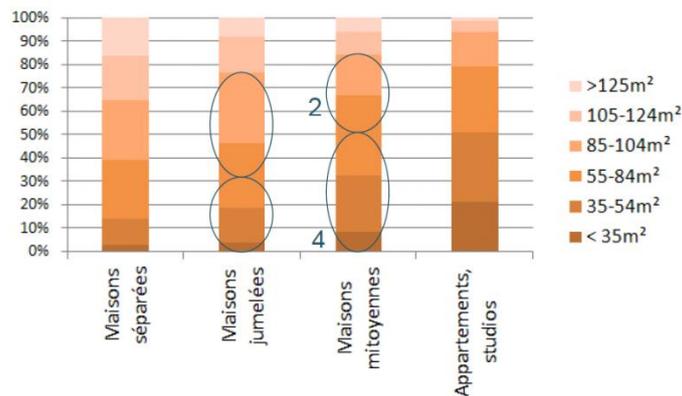


AGE	≤1918	1919-1945	1946-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	> 1991	Total
Maisons isolées	93.129	45.867	44.455	52.743	85.849	51.539	73.810	447.392
Maisons jumelées	77.467	48.799	37.271	22.411	24.726	8.873	9.257	228.803
Maisons mitoyennes	138.055	112.439	55.653	24.327	22.146	7.715	6.991	367.326
Flats	27.043	26.869	31.696	37.816	42.445	16.199	35.720	217.788
Total	335.694	233.974	169.075	137.296	175.165	84.326	125.778	1.261.309

Répartition des logements wallons selon leur âge et leur configuration

Chiffres < Enquête socio-économique 2001 - DGSIE, SPF Economie

Figure 1 - Répartition des logements wallons selon leur âge et leur configuration (source : Etude logements wallons UCL, 2009)



Taille des logements en fonction de leur configuration
Chiffres < Enquête socio-économique 2001 - DGSIE, SPF Economie

Figure 2 - Taille des logements en fonction de leur configuration (source : Etude logements wallons UCL, 2009)

1



Maison de type vernaculaire

Le plus souvent rurale et «4 façades», ancienne (18^e, 19^e et début 20^e), volumétries diverses, grand volume habitable - Matériaux et techniques constructives traditionnels : murs pleins, pouvant être très épais, en pierre ou briques, charpentes en bois, argile, chaux... (ressources locales) → valeur patrimoniale, héritage culturel à préserver - Gaz naturel généralement non disponible
± 6% des logements construits avant 1991

5



«Villa» des premières extensions urbaines

Années 30 et surtout 50-60 - Maisons moyennes à grandes, isolées ou jumelées - Murs creux «1^{ère} génération» (ponts thermiques fréquents) - Souvent assez complexes : diversité de volumétries, jeux de matériaux ... - Chauffage central au mazout fréquent
± 6% des logements construits avant 1991

2



Maison urbaine moyenne, début 20^e siècle

Maison mitoyenne ou semi-mitoyenne, 5 à 6 m de façade, taille moyenne à grande : plafonds hauts, rez + premier + combles, caves (voussettes) - Façades avant : détails, ornements (balcons, pierre...) - Souvent manque de lumière naturelle au rez - A l'arrière : annexes (+ récentes, qualité ↘) - Matériaux «traditionnels» + industriels - Gaz naturel généralement disponible
± 16% des logements construits avant 1991

6



Appartement dans un immeuble type «Etrimmo»

Années 60 et 70 - Bâtiment avec balcons, ascenseur, toit souvent plat, plusieurs niveaux - Ossature béton, acier, glasil, simple vitrages... - Souvent catastrophiques au niveau de la qualité thermique - Chauffage électrique fréquent - Copropriété
± 6% des logements construits avant 1991

3



Maison villageoise, entre-deux guerres

Maison moyenne à grande, rez sur cave (partielle) + 1 + combles, volumétrie simple, allongée, souvent volumes annexe en appentis - Simplicité constructive et matériaux industriels : béton, briques (+ récentes, qualité ↘) - Matériaux «traditionnels» + industriels - Gaz naturel partiellement disponible
± 5% des logements construits avant 1991

7



Maison 4 façades type «lotissement»

Années 70 et 80, d'abord en banlieue, puis sur l'ensemble du territoire (urbanisation diffuse) - Rez-de-chaussée + 1^{er} étage (souvent partiellement dans la toiture), avec ou sans cave - Matériaux de construction et mise en oeuvre «conventionnels» : briques, béton, murs creux ... - Gaz naturel souvent absent - Peu de problèmes de salubrité
± 13% des logements construits avant 1991

4



Maison ouvrière, «modeste»

Maison mitoyenne, datant d'avant 1945, très petits volumes, plafonds assez bas, hall d'entrée souvent absent, 2 pièces au rez, 2 pièces au premier étage, petite cave - Simplicité constructive - Souvent en mauvais état, problèmes d'insalubrité fréquents - Gaz naturel généralement disponible (mais chauffage au charbon encore fréquent)
± 18% des logements construits avant 1991

8



Appartement dans un «bâtiment divisé en plusieurs unités de logement»

Différentes configurations et âges de bâtiments - Cette catégorie est importante car ces logements sont le plus souvent loués (parc locatif privé, comblant le déficit en logements sociaux) et concentrent les problèmes de salubrité et de qualité
± 6% des logements construits avant 1991

Figure 3 - Typologies prioritaires définies par l'étude de l'UCL (source : Etude logements wallons UCL, 2009)

Les typologies (les plus répandues) sélectionnées pour les maisons sont encadrées en rouge et pour les appartements en bleu.

La maison de type ouvrière « modeste » (en pointillé rouge) n'a pas été retenue car elle présente des caractéristiques assez similaires de la maison « urbaine mitoyenne ». Et de cette manière, deux typologies de bâtiment différentes sont alors proposées : une maison 4 façades et une maison mitoyenne.

1.1.2. L'ÉTUDE « TABULA »

TABULA vise à créer une structure harmonisée Européenne de typologies de bâtiments. Ce projet se focalise sur les bâtiments résidentiels. Treize pays Européens participent à cette initiative en vue de développer des typologies nationales basées sur une approche commune. Chaque typologie nationale sera basée sur un jeu de bâtiments types dont les caractéristiques techniques impactant la performance énergétique seront classées a minima selon :

- la période de construction ;
- la taille du bâtiment.

Dans le projet TABULA, le principe de classification cible les **caractéristiques qui ont un impact sur la consommation énergétique**.

	Region	Construction Year Class	Additional Classification	SFH	TH	MFH	AB
				Single-Family House	Terraced House	Multi-Family House	Apartment Block
1	national (Belgie)	... 1945	generic	 BEN.SFH.01.Gen	 BEN.TH.01.Gen	 BEN.MFH.01.Gen	
2	national (Belgie)	1946 ... 1970	generic	 BEN.SFH.02.Gen	 BEN.TH.02.Gen	 BEN.MFH.02.Gen	 BEN.AB.02.Gen
3	national (Belgie)	1971 ... 1990	generic	 BEN.SFH.03.Gen	 BEN.TH.03.Gen	 BEN.MFH.03.Gen	 BEN.AB.03.Gen
4	national (Belgie)	1991 ... 2005	generic	 BEN.SFH.04.Gen	 BEN.TH.04.Gen	 BEN.MFH.04.Gen	 BEN.AB.04.Gen
5	national (Belgie)	2006 ...	generic	 BEN.SFH.05.Gen	 BEN.TH.05.Gen	 BEN.MFH.05.Gen	 BEN.AB.05.Gen

Figure 4 - Classification des bâtiments selon l'étude TABULA (source : Etude TABULA, 2011)

Nous identifions dans la matrice les typologies de bâtiment choisies sur base de l'étude réalisée à l'échelle de la Région wallonne :

- TH1 = maison urbaine moyenne début 20^{ème} siècle ou maison ouvrière « modeste » avant 1945 ;
- SFH3 = maison 4 façades type lotissement années 70, 80 ;
- AB2 et AB3 = immeuble d'appartements type « Etrimmo » années 60, 70.

Le type « appartement dans un bâtiment divisé en plusieurs unités de logement » ne se trouve pas dans la matrice TABULA. Cependant, les caractéristiques de l'enveloppe correspondent au type TH1 ; pour les systèmes, on se référera dès lors au type MFH1. Les immeubles d'appartements type « Etrimmo » années 60, 70 peuvent être confondus avec les bâtiments type AB2 et AB3.

1.1.3. DONNÉES POUR LES BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS EXISTANTS

Dans la suite de notre étude, on utilisera une dénomination propre pour les bâtiments existants de référence, reprise dans le tableau ci-dessous. ME signifie Maison Existante et AE correspond aux Appartements Existants.

Etude CO-ZEB	Etude UCL	TABULA
ME1	2. Maison urbaine moyenne début 20 ^{ème} siècle	TH1
ME2	7. Maison 4 façades type lotissement années 70, 80	SFH3
AE1	8. Appartement dans un bâtiment divisé en plusieurs unités de logement	/
AE2	6. Immeuble d'appartements type « Etrimmo » années 60, 70	AB2/3

Tableau 1 - Dénomination des bâtiments de référence

Chaque type de logements de référence représente un pourcentage du parc de logements construits en Région Wallonne. L'étude réalisée par l'UCL nous donne les chiffres suivants :

Bâtiment	Etude UCL - % des logements en RW construits avant 1991
ME1	+/- 16 %
ME2	+/- 13 %
AE1	+/- 6 %
AE2	+/- 6 %

Tableau 2 - Pourcentage des typologies de logement en Région wallonne

L'étude TABULA donne, quant à elle, des pourcentages plus précis par période de 20 ans pour chaque typologie. Dans le Tableau 3, nous avons entouré les pourcentages correspondant aux bâtiments de référence que nous avons choisis. La maison ME1 est une maison mitoyenne construite au début du 20^{ème} siècle, elle correspond donc dans le tableau ci-dessous à « terraced, < 1945 ». La maison ME2 (maison 4 façades des années 70, 80) coïncide avec le type « freestanding, 1971-1990 ». L'immeuble d'appartements AE1 qui représente les appartements construits les plus anciens en Région Wallonne, c'est-à-dire à la catégorie « flats, < 1945 ». Quant à l'immeuble d'appartement AE2 (type Etrimmo des années 60, 70), il s'agit des deux typologies appelées « flats, 1945-1970 » et « flats, 1971-1990 ».

% des logements en RW construits avant 2007												
WALLOON REG.	freestanding			semi-detached			terraced			flats		
<1945	9,60%	35,23%	142.105	14,96%	60,81%	221.483	21,14%	68,03%	313.027	6,65%	38,94%	98.524
1945-1970	6,10%	22,38%	90.267	4,69%	19,09%	69.517	3,99%	12,84%	59.075	3,49%	20,40%	51.614
1971-1990	7,83%	28,75%	115.961	3,05%	12,38%	45.103	2,89%	9,31%	42.850	2,90%	17,00%	43.006
1990-2007	3,71%	13,63%	54.991	1,90%	7,72%	28.123	3,05%	9,81%	45.150	4,04%	23,67%	59.886
total	27,24%	100%	403.325	24,60%	100%	364.226	31,07%	100%	460.102	17,09%	100%	253.030

Tableau 3 - Pourcentage des typologies de logement en Région wallonne par période (source : Etude TABULA, 2011)

On observe dans le Tableau 3 que l'habitation ME1 correspond à 68,03% des maisons mitoyennes construites en Région Wallonne.

L'habitation ME2 correspond à 28,75% des maisons individuelles 4 façades, ce qui ne représente pas le maximum selon l'étude TABULA (35,23% pour les maisons individuelles construites avant 1945). Il est tout de même raisonnable d'opter pour ce type de maison « lotissement » des années 80, notamment vu les résultats de l'étude de l'UCL pour qui cette typologie représente 13% du parc immobilier construit.

AE1 correspond à 38,94% des immeubles d'appartements vu l'âge des bâtiments accueillant ce type de logements (souvent < 1945), il s'agit du pourcentage le plus élevé en RW.

AE2 correspond à des bâtiments construits dans les années 60 et 70, il est donc à cheval sur 2 catégories, on peut raisonnablement admettre que ce type de logement est représentatif vu les pourcentages annoncés dans le tableau ci-dessus.

Le Tableau 4 ci-dessous reprend les pourcentages des différentes typologies choisies dans les deux études (UCL et TABULA) illustrant ainsi la représentativité de ces dernières en Région Wallonne.

Bâtiment	Etude UCL	TABULA	
	% des logements en RW construits avant 1991	% des logements (par typologie) en RW construits avant 2007	% des logements (au total) en RW construits avant 2007
ME1	+/- 16 %	+/- 21 %	68 %
ME2	+/- 13 %	+/- 8 %	29 %
AE1	+/- 6 %	+/-7 %	39 %
AE2	+/- 6 %	+/- 4 % et +/- 3 %	+/- 20 % et +/- 17 %

Tableau 4 - Représentativité des typologies choisies entre les deux études (UCL et TABULA)

L'étude TABULA fournit également les tailles moyennes des logements et les surfaces, voir Tableau 5. Ces valeurs sont indicatives et nous les considérons comme un ordre de grandeur.

Bâtiment	Surface brute (m ²)	Volume protégé (m ³)	Surface de déperdition (m ²)
ME1	226	621	232
ME2	238	656	549
AE1	226 (totale)	621 (totale)	232 (totale)
AE2	100 / appart	320 / appart	45 / appart

Tableau 5 - Taille moyenne des logements

L'étude TABULA se base sur les caractéristiques qui ont un impact sur la consommation énergétique. Le Tableau 6 décrit, par typologie, les parois de déperdition ainsi que leur composition :

- les murs pleins sont retrouvés dans les habitations construites avant 1945 comme pour ME1 et AE1, tandis que les murs creux apparaissent après 1945 et les murs creux isolés (par 3cm de laine minérale, par exemple) sont utilisés pour l'habitation ME2 construite dans les années 1980.
- le simple vitrage est encore très présent dans les habitations ME1 et AE1. On trouve du double vitrage (peu performant) uniquement pour les maisons ME2, plus récentes.
- les toitures à versants sont plus présentes que les toitures plates en Région Wallonne. Les toitures plates sont notamment utilisées pour les immeubles appartements de type « Etrimmo » AE2. L'isolation dans les toitures n'apparaît que vers les années 1970 – 1980.

- le plancher composé d'une dalle de sol en béton se retrouve dans beaucoup de typologies. Les constructions plus récentes possèdent souvent, en plus, une isolation dans la composition de ce plancher.

Pour la typologie AE2, étant donné qu'elle date des années 60-70 (c'est-à-dire avant l'apparition de toiture isolée), nous nous référons au cas où la toiture et le plancher ne sont pas isolés.

Le Tableau 6 reprend schématiquement toutes ces compositions et donne les caractéristiques thermiques de chaque paroi en W/m^2K .

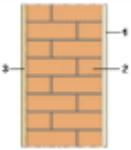
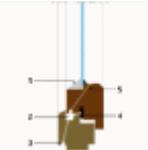
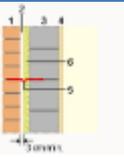
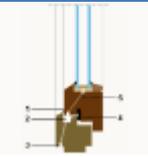
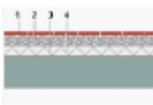
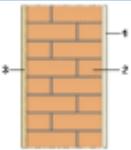
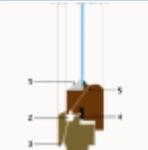
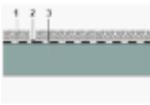
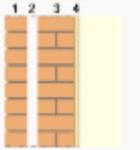
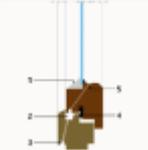
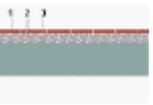
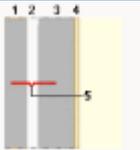
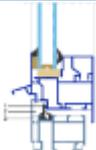
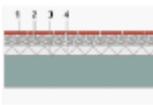
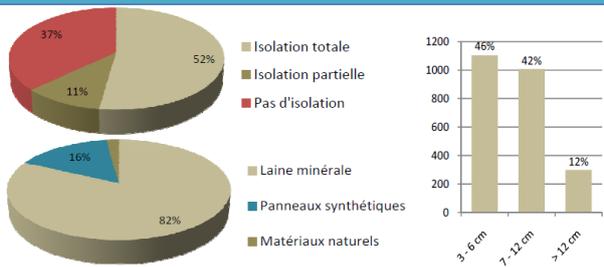
Bâtiment	Toiture	Mur	Fenêtres	Plancher
ME1	 1,7	 2,2	 5,0	 0,85
ME2	 0,85	 1,0	 3,5	 0,68
AE1	 1,7	 2,2	 5,0	 0,85
AE2	 3,5	 1,7	 5,0	 3,5
	 0,85	 1,7	 4,3	 0,68

Tableau 6 - Niveau d'isolation U des parois par typologie [$W/(m^2K)$]

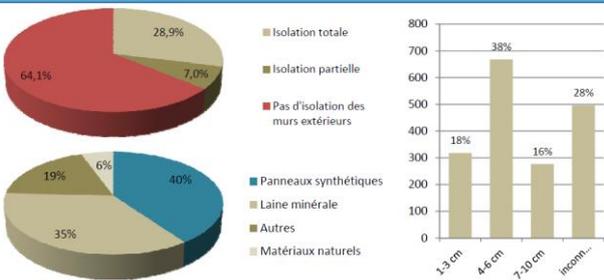
Toiture



Isolation des toitures : proportion de toitures isolées, matériaux et épaisseurs d'isolation - Chiffres < Enquête-qualité 2007, MRW, DGATLP

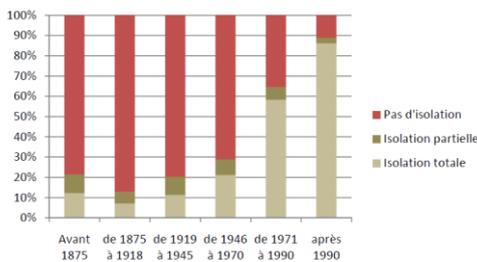
D'après l'Enquête qualité 2007, la moitié des toitures sont isolées totalement, mais près de 40% des toitures ne sont pas du tout isolées ! A peine 10% des toitures isolées disposent d'une épaisseur d'isolant supérieure à 12 cm, ce qui est faible au vu des recommandations actuelles. Le matériau d'isolation le plus fréquent (de loin) est la laine minérale.

Mur



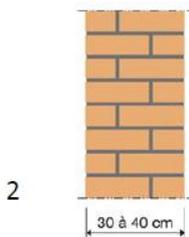
Isolation des murs extérieurs : % logements ayant des murs isolés, matériaux et épaisseurs d'isolation - Chiffres < Enquête-qualité 2007 - DGATLP, MRW

L'isolation thermique des murs extérieurs est loin d'être généralisée : elle est absente dans près de 65% des logements wallons, tandis que seulement 29% ont leurs murs totalement isolés. Les épaisseurs mises en œuvre sont plutôt faibles (seulement 16% > 6 cm). Les matériaux isolants les plus fréquents sont les panneaux synthétiques et la laine minérale.

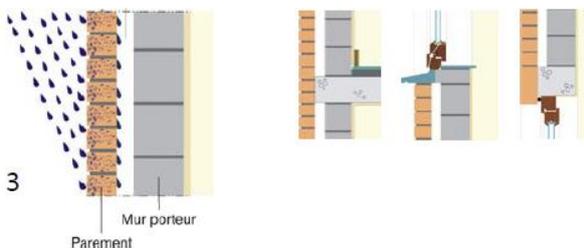


% logements ayant des murs isolés en fonction de leur époque de construction
Chiffres < Enquête-qualité 2007 - DGATLP, MRW

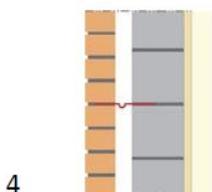
On observe un lien direct entre l'âge des bâtiments et l'isolation des murs (exception : le bâti le plus ancien), ce qui nous montre que si lors de rénovations ou transformations, l'isolation des toitures et le remplacement des fenêtres sont des pratiques courantes, la post-isolation des murs reste très rare. Ce n'est qu'à partir des crises énergétiques des années 70 que l'isolation des murs commence (timidement) à se généraliser.



2. Murs pleins en briques fréquents jusqu'aux années 50. Matériaux «traditionnels» (bois, terre cuite, pierre) + matériaux industriels (fonte, acier, béton, terre cuite hourdée...). Au début du 20^è siècle, souvent détails de qualité (balcons, encadrements des baies en pierre bleue... surtout au niveau des façades avant dans les maisons de ville) ; par la suite mise en œuvre plus «lisse».

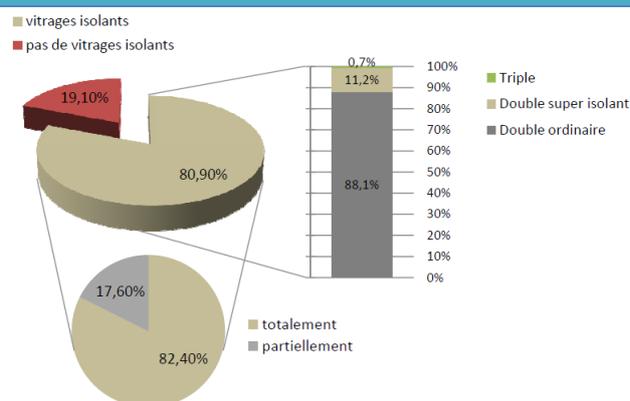


3. Murs creux «première génération» Apparition entre-deux guerres. Liens fréquents entre le mur porteur et le parement, en maçonnerie ou béton (ponts thermiques, risques d'infiltration).



4. Mur creux «2ème génération» Se généralisent au cours des années 70. Solidarisation du mur porteur et du mur de parement par des ancrages ponctuels en acier.

Fenêtres

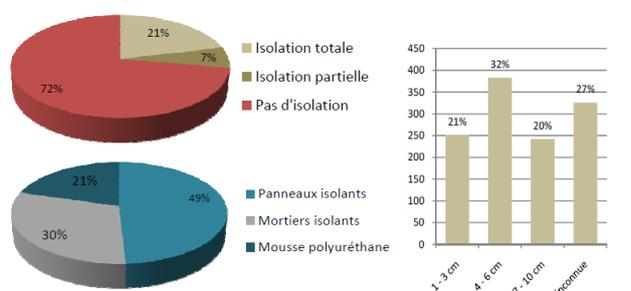


Caractéristiques des fenêtres : proportion et type de vitrages isolants

Chiffres < Enquête-qualité 2007 - DGATLP, MRW

81% des logements wallons possèdent des vitrages isolants dont 82% totalement (toutes les fenêtres sont isolantes) et 18% partiellement. Le type de vitrage isolant est surtout du «double vitrage ordinaire» (88% des cas) ; la part du triple vitrage est vraiment très faible. Pour les châssis, le matériau le plus fréquent est le bois (63%), puis le PVC (29%), ensuite l'aluminium, avec ou sans coupure thermique (respectivement 3 et 4%).

Plancher



Isolation des planchers bas : proportion de sols isolés, matériaux et épaisseurs d'isolation - Chiffres < Enquête-qualité 2007, MRW, DGATLP

On ne considère ici que les maisons unifamiliales, pas les appartements. Comme on s'y attend, l'enquête confirme que les planchers sont rarement isolés : l'isolation des sols est absente dans plus de 70% des maisons. Les épaisseurs d'isolants mises en œuvre sont faibles à moyennes ; les matériaux les plus couramment utilisés sont les panneaux isolants (panneaux rigides ou semi-rigides posés entre la chape et la dalle ou sous la chape), des mortiers isolants (mortiers composés de ciment et de particules isolantes incorporées dans le mélange) et de la mousse de polyuréthane.

Tableau 7- Données statistiques d'isolation des parois [W/(m²K)] (source : Etude logements wallons UCL, 2009)

Nous considérons l'étanchéité à l'air mentionnée dans le Tableau 8 ci-dessous pour les situations existantes. Ces valeurs d'étanchéité, reprises de l'étude TABULA, seront améliorées lorsque des travaux d'isolation seront réalisés sur le bâtiment, par exemple lorsque des fenêtres existantes peu étanches à l'air sont remplacées par des nouvelles fenêtres.

Bâtiment	Etanchéité à l'air [m³/h.m²]
ME1	14,9
ME2	17,1
AE1	14,9
AE2	14,1

Tableau 8- Etanchéité à l'air n50 [m³/h.m² de paroi] (source : Etude TABULA, 2011)

L'étude TABULA a également repris les types de systèmes installés dans les bâtiments résidentiels existants. Le Tableau 9 reprend pour chaque typologie : le système de chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et le système de ventilation.

Bâtiment	Chauffage	Type ECS	Ventilation
ME1	Chaudière gaz	Chauffe-eau instantané gaz	Aucune ventilation contrôlée
ME2	Chaudière mazout	Chauffe-eau électrique avec stockage	Aucune ventilation contrôlée
AE1	Chauffage central collectif gaz	Chauffe-eau instantané individuel gaz	Aucune ventilation contrôlée
AE2	Chauffage central collectif gaz	Chauffe-eau instantané individuel gaz	Aucune ventilation contrôlée

Tableau 9- Système de chauffage/ ECS / ventilation (source : Etude TABULA, 2011)

Pour les systèmes installés dans chaque bâtiment, nous avons donc considéré les systèmes évoqués dans l'étude TABULA. Cela correspond aux deux vecteurs énergétiques principaux employés en RW (mazout et gaz) repris dans l'étude de l'UCL ci-dessous.

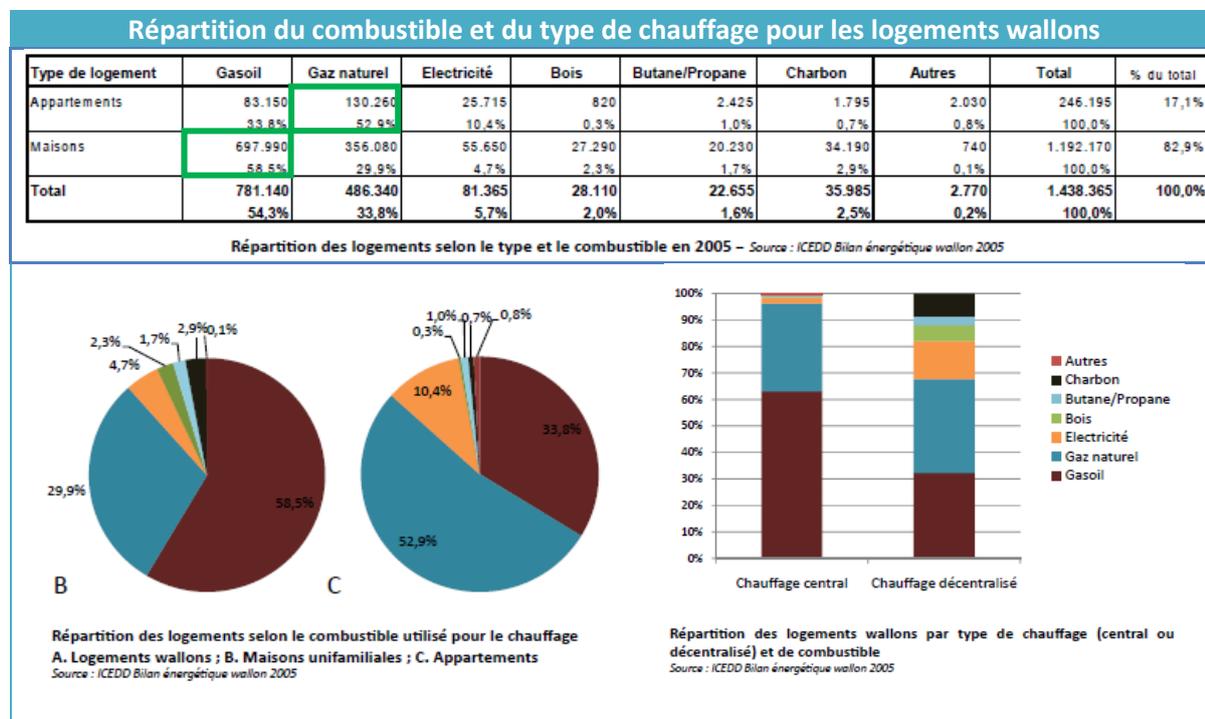


Tableau 10 - Système de chauffage (source : Etude logements wallons UCL, 2009)

L'étude de l'UCL apporte les conclusions suivantes quant aux vecteurs énergétiques principalement employés en Région Wallonne : « *Le gasoil est le premier vecteur énergétique choisi pour chauffer les logements wallons (près de 55% du parc). Vient ensuite le gaz naturel (près de 34% du parc). Le « chauffage collectif » est lié au gaz : plus de la moitié des appartements sont chauffés au gaz naturel, alors que dans les maisons, c'est le mazout qui est largement majoritaire. L'électricité vient en troisième position, mais à nouveau elle caractérise davantage les appartements que les maisons unifamiliales. Le chauffage central se généralise au détriment du chauffage décentralisé : il concerne en 2005 plus de 70% des logements. Le mazout et le gaz naturel servent de combustible dans la quasi-totalité des installations de chauffage central. Dans les installations récentes, le gaz naturel progresse plus fortement que le gasoil.* »

1.1.4. BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS EXISTANTS DE RÉFÉRENCE

Le Tableau 11 ci-dessous reprend de manière synthétique les 4 bâtiments résidentiels choisis comme bâtiments de référence. Deux bâtiments sont choisis pour le résidentiel unifamilial et deux autres bâtiments pour le multi-résidentiel.

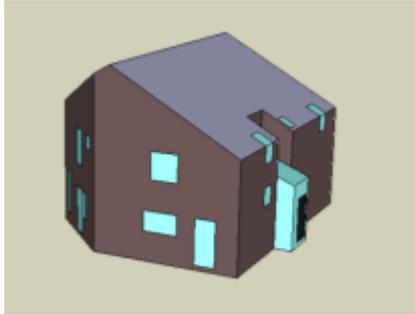
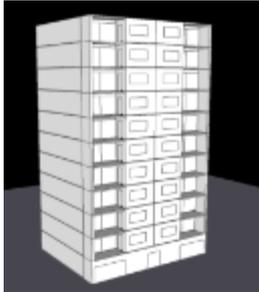
Bâtiment	Typologie	Illustration
ME1	Maison urbaine moyenne début 20 ^{ème} siècle	
ME2	Maison 4 façades type lotissement années 70, 80	
AE1	Appartement dans un bâtiment divisé en plusieurs unités de logement	
AE2	Immeuble d'appartements type « Etrimmo » années 60, 70	

Tableau 11 - Choix des bâtiments résidentiels existants de référence

1.1.4.1. ME1 - Maison urbaine moyenne début 20ème siècle

L'habitation étudiée est une habitation mitoyenne située en centre-ville et construite au début du 20^{ème} siècle. La photo ci-dessous (Figure 5) montre une habitation avec trois façades libres, mais dans l'étude nous avons considéré uniquement deux façades libres. Les deux murs mitoyens ne sont pas des surfaces de déperdition. La façade avant s'oriente à l'Ouest et la façade arrière à l'Est.

La maison est formée de différents volumes : un volume principal et plusieurs petits volumes secondaires (annexes). Le volume principal comporte cinq niveaux dont deux sont des espaces adjacents non chauffés dits EANC (des caves et des combles). Le rez-de-chaussée compte le hall d'entrée et le salon. Les chambres et l'escalier principal se situent au sein des étages supérieurs. Les annexes comprennent au rez-de-chaussée la cuisine, la salle-à-manger, la buanderie et un escalier secondaire. Ce dernier relie ce niveau au 1^{er} étage abritant une chambre et une salle de bain. Les plans de l'habitation sont repris à l'annexe A.

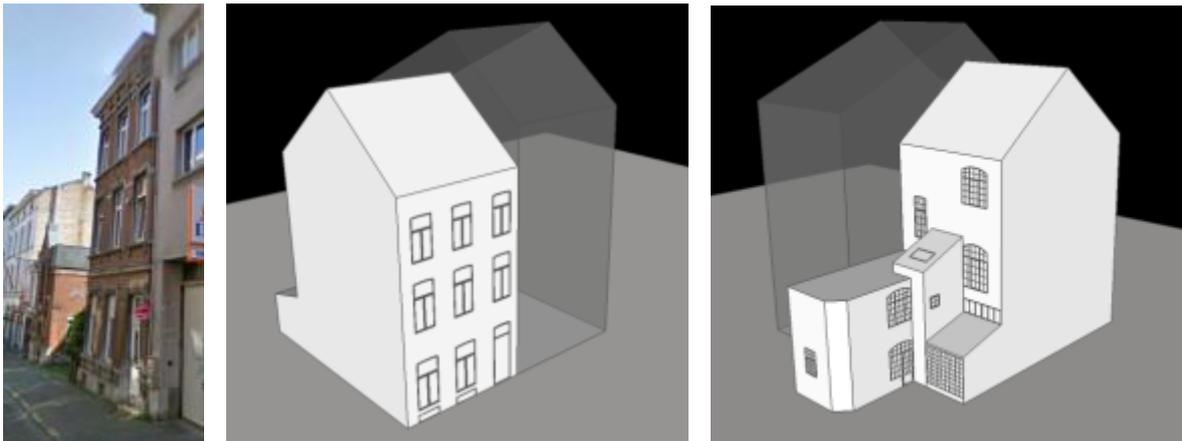


Figure 5 - Photo et vues 3D de l'habitation ME1

Les informations générales sur l'habitation existante sont reprises dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable**. Tableau 12.

Les types de parois, leur composition, leur orientation et leur surface sont détaillées au Tableau 13.

INFORMATIONS GENERALES	
Programme: Maison unifamiliale existante mitoyenne - ME1	
Situation: Verviers	
Architecte (rénovation en 1985): J.M. Hauglustaine	
ENVELOPPE	SYSTÈME
Ach 260,79m ²	Chauffage chaudière à eau chaude sans condensation au gaz
Volume protégé 854,15m ³	Eau chaude sanitaire appareil à combustion au gaz naturel
Compacité 2,27	Ventilation pas de système complet - exigences non respectées
Etanchéité à l'air 14,9m ³ /h.m ²	
RESULTATS PEB	
NIVEAU K : 140	
NIVEAU Ew : 295	
Niveau Espec : 402 kWh/m ² .an	

Tableau 12 - Informations générales ME1

GEOMETRIE				
Type de paroi	Orientation	Matériau	Uparoi [W/m²K]	Surface
Mur avant	OUEST	plein, 30cm	2,31	53,43m²
Mur arrière	EST			83,14m²
Mur mitoyen	NORD et SUD		1,36	312,09m²
Fenêtres avant	OUEST	simple vitrage	vitrage : 5,5 / châssis: 2,36	24,44m²
Fenêtres arrière	EST			24,74m²
Fenêtres annexe	NORD			6,14m²
Fenêtres de toit	EST			0,7m²
Toit - plancher grenier		plancher bois	1,65	69m²
Toit plat annexe		structure bois	1,55	21,6m²
Toit incliné annexe				12,5m²
Plancher	sur cave	béton armé	0,91	81,04m²

Tableau 13 - Géométrie et composition parois ME1

1.1.4.2. ME2 – Maison 4 façades type lotissement années 70, 80

La deuxième habitation étudiée est une habitation de type « villa » située dans un lotissement, hors du centre-ville et construite dans les années 1980.

Le volume protégé de cette maison est délimité par les 4 façades libres, par le plancher sur sol et en toiture en partie par le plancher des combles et en partie par une toiture inclinée extérieure. Le grenier ne fait pas partie du volume protégé.

Au rez-de-chaussée on retrouve les pièces de vie et aux étages les chambres et salle de bain. Les plans de l'habitation sont repris à l'annexe B.

INFORMATIONS GENERALES	
Programme: Maison unifamiliale existante de type 'villa' - ME2	
Situation: Thimister	
Architecte: J.M. Hauglustaine	
ENVELOPPE	SYSTÈME
Ach 221,12 m²	Chauffage chaudière à eau chaude sans condensation au mazout
Volume protégé 625,22 m³	Eau chaude sanitaire boiler électrique par résistance
Compacité 1,36	Ventilation pas de système complet - exigences non respectées
Etanchéité à l'air 17,1m³/h.m²	
RESULTATS PEB	
NIVEAU K : 114	
NIVEAU Ew : 238	
Niveau Espec : 412 kWh/m².an	

Tableau 14 - Informations générales ME2

GEOMETRIE				
Type de paroi	Orientation	Matériau	Uparoi [W/m²K]	Surface
Mur extérieur		creux, ép 35cm, isolation 3cm LM	0,95	137,22m ²
Mur extérieur de caractère				56,90m ²
Fenêtres N	NORD	simple vitrage	vitrage : 5,5 / châssis: 2,36	7,50m ²
Fenêtres O	OUEST			5,40m ²
Fenêtres SO	SUD-OUEST			4,00m ²
Fenêtres S	SUD			7,30m ²
Fenêtres SE	SUD-EST			4,90m ²
Fenêtres E	EST			6,90m ²
Fenêtres de toit	NORD			5,70m ²
Toit - plancher grenier		structure bois, isolation	0,91	69m ²
Toit incliné extérieur		4cm LM	0,81	12,5m ²
Plancher	sur sol	béton armé	0,73	112,19m ²

Tableau 15 - Géométrie et composition parois ME2

1.1.4.3. AE1 – Appartement dans un bâtiment divisé en plusieurs unités de logement

L'immeuble d'appartements, de type «bâtiment divisé en plusieurs unités de logement», comporte cinq niveaux dont le dernier est mansardé. Les appartements sont répartis un par niveau.



Figure 6 - Photo de l'immeuble d'appartement AE1

Seules les façades avant et arrière, orientées respectivement SO et NE sont en contact avec l'environnement extérieur ; les autres parois sont mitoyennes.

Les figures ci-dessous illustrent la géométrie de l'immeuble d'appartements. La vue schématique de gauche représente la façade avant et celle de droite, la façade arrière.

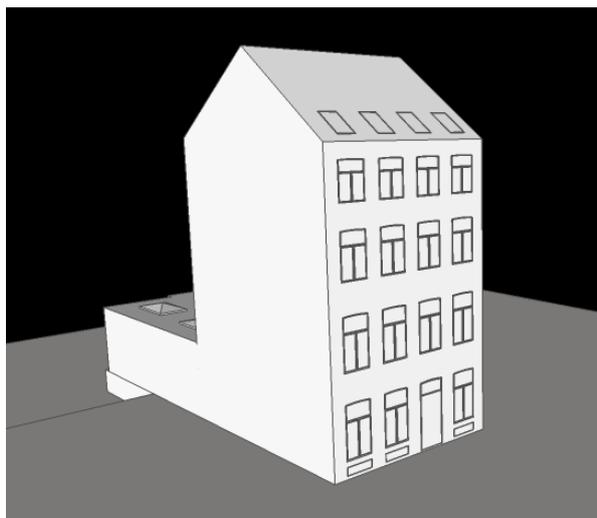


Figure 7 - Vue de la façade avant (SO)

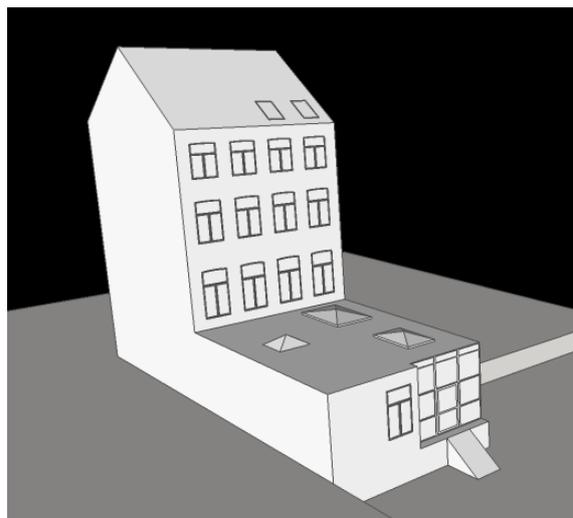


Figure 8 - Vue de la façade arrière (NE)

L'immeuble d'appartements est composé de deux volumes adjacents : un bâtiment principal et une annexe située à l'arrière. Cette dernière comporte un seul niveau chauffé.

Chaque appartement est divisé en deux zones : une zone jour comprenant le hall, le séjour et la cuisine et une zone nuit comprenant une chambre (côté façade avant) et une salle-de-bain. L'agencement des pièces est sensiblement identique pour chaque appartement à l'exception du rez-de-chaussée. Sa superficie est supérieure par rapport à celle des autres. La zone nuit (deux chambres) est placée côté façade arrière. Les plans et coupes se trouvent à l'Annexe F.

Le bâtiment principal contient des caves et des combles. Ce sont des espaces adjacents non chauffés (EANC). Le plancher de l'annexe est une dalle sur terre-plein.

Le tableau suivant reprend les caractéristiques principales de l'immeuble d'appartements.

SURFACE UTILE	677,98	m ²
VOLUME PROTÉGÉ	1714,14	m ³
COMPACITÉ	2,79	m
PROPORTION DE VITRAGE	27,24	%
SURFACE TOTALE DE VITRAGE	125,57	m ²

Tableau 16 – Caractéristiques de l'immeuble d'appartements AE1

Les surfaces de déperditions du bâtiment sont la façade avant orientée sud, la façade arrière orientée nord, le plancher sur caves et la toiture. Les informations générales et la composition des parois sont reprises respectivement dans le Tableau 17 et le Tableau 18.

INFORMATIONS GÉNÉRALES	
PROGRAMME	Immeuble d'appartement existant 1 – AE1
IMPLANTATION	Namur
ARCHITECTE	J.M. Hauglustaine
ENVELOPPE	SYSTÈME
S_{UT} 621,8 m ²	CHAUFFAGE Chauffage à eau chaude sans condensation au gaz naturel
A_{CH} 431,83 m ²	EAU CHAUDE SANITAIRE Appareil à combustion au gaz naturel
VOLUME PROTÉGÉ 1714,14 m ³	VENTILATION Pas de système complet -exigences non respectées
COMPACITÉ 2,68 m	
Etanchéité à l'air 14,9 m ³ /h.m ²	
RÉSULTATS PEB	
NIVEAU K: 129	
NIVEAU E: 285 308 267 235 292	
NIVEAU E _{SPEC} : 465 359 311 269 661 kWh/m ² an	

Tableau 17 - Informations générales AE1

GÉOMÉTRIE				
Type de paroi	Orientation	Matériau	Uparoi [W/m ² K]	Surface
Mur avant	SUD-OUEST	Maçonnerie pleine (30 cm)	2,31	75,95
Mur arrière	NORD-EST			59,09
Mur arrière (annexe)	NORD-EST	Bloc de béton (14 cm) Laine minérale (4 cm) Coulisse ventilée Brique (9 cm)	0,89	21,56
Mur mitoyen	SE et NO	Maçonnerie pleine (30 cm)	1,36	465,34
Fenêtres avant	SUD-OUEST	Simple vitrage	Vitrage : 5,5 Châssis : 4,00	45,64
Fenêtres arrière	NORD-EST			32,79
Fenêtres arrière (annexe)	NORD-EST			19,87
Fenêtres de toit	NE et SO			27,27
Toit double pente		Structure bois	1,7	82,9
Toit plat (annexe)		Structure bois + laine minérale 12 cm	0,48	89,15
Plancher	sur cave	Béton + maçonnerie	1,00	90,3
Plancher (annexe)	sur sol	Béton lourd EPS (4 cm) Chape Revêtement	0,43	104,4

Tableau 18 - Géométrie et composition parois AE1

1.1.4.4. AE2 – Immeuble d'appartements type « Etrimmo », années 60,70

L'immeuble d'appartements est tiré de l'étude Epicool. Il est constitué de 11 niveaux ; le rez-de-chaussée abrite les garages et les étages abritent les logements.

Chaque étage comprend 2 logements de 2 chambres. Le bâtiment est divisé en deux zones :

- une zone jour (côté façade avant) comprenant le hall, le séjour et la cuisine ;
- une zone nuit (côté façade arrière) comprenant les deux chambres et la salle de bains.

L'organisation de l'habitation est illustrée dans les plans se trouvant à l'Annexe G.

Les surfaces de déperdition sont la façade avant orientée sud, la façade arrière orientée nord, le plancher (sur garage et sur sol) et la toiture plate.

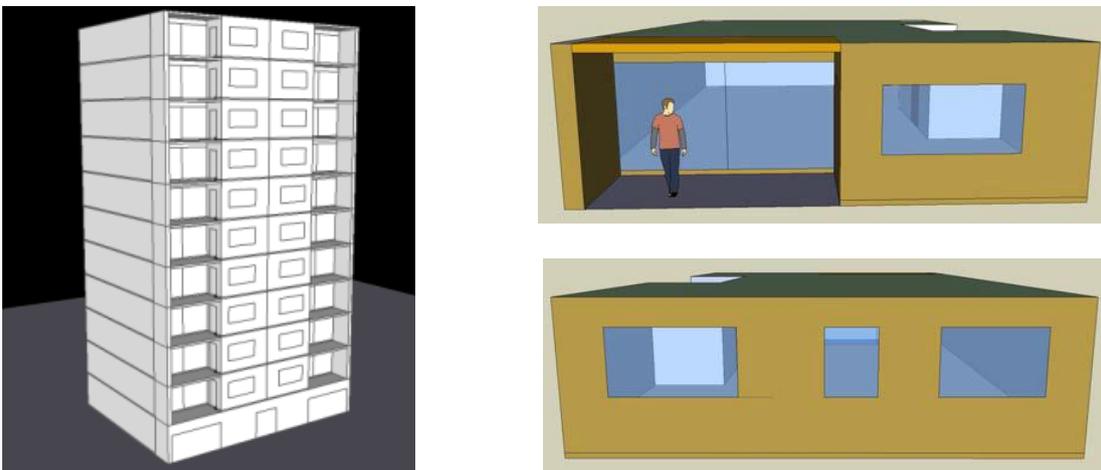


Figure 9 - Vues 3D de l'immeuble à appartements AE2 et d'un appartement type

Les deux tableaux ci-après reprennent les informations générales du bâtiment ainsi que les caractéristiques de la géométrie et de la composition des parois.

INFORMATIONS GÉNÉRALES	
PROGRAMME	Immeuble d'appartement existant 2 – AE2
IMPLANTATION	-
ARCHITECTE	-
ENVELOPPE	SYSTÈME
S_{UT} 2537,88 m ²	CHAUFFAGE Chauffage à eau chaude sans condensation au gaz naturel
A_{CH} 2002 m ²	EAU CHAUDE SANITAIRE Appareil à combustion au gaz naturel
VOLUME PROTÉGÉ 5649,06 m ³	VENTILATION Pas de système complet - exigences non respectées
COMPACITÉ 3,21 m	
Etanchéité à l'air 14,1 m ³ /h.m ²	
RÉSULTATS PEB	
NIVEAU K: 145	
NIVEAU E: 191 216 248	
NIVEAU E _{SPEC} : 337 293 443 kWh/m ² an	

Tableau 19 - Informations générales AE2

GÉOMÉTRIE				
Type de paroi	Orientation	Matériau	Uparoi [W/m ² K]	Surface
Mur extérieur	NORD et SUD	Bloc de béton (19 cm) Coulisse ventilée Brique	2,07	873,69
Fenêtres avant	SUD	Simple vitrage	Vitrage : 5,5 Châssis : 2,8	271,92
Fenêtres arrière	NORD			129,36
Porte avant	SUD	Par défaut	4,00	39,6
Toit plat		Structure béton	1,03	182
Plancher	sur garage	Béton lourd	0,23	170,24
Plancher	sur sol	Béton lourd	0,56	15,83

Tableau 20 - Géométrie et composition parois AE2

1.2. BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS NEUFS DE RÉFÉRENCE

1.2.1. DONNÉES POUR HABITATIONS UNIFAMILIALES

Nous nous sommes basés sur les statistiques données par <http://statbel.fgov.be> (Statistics Belgium) pour identifier la typologie de **bâtiment résidentiel neuf** la plus importante.

Les chiffres ci-dessous (la statistique cadastrale du parc de bâtiments donne le nombre de bâtiments au 1er janvier de l'année de référence) sont spécifiques à la Wallonie. Les données sont issues du Cadastre du SPF Finances.

Pour identifier les typologies de bâtiments neufs, nous calculons la différence du nombre de maisons en 2011 et en 2010, ce qui donne une approximation du nombre de maisons construites sur une année (Tableau 21). Ce nombre est négatif pour quatre cas ; il résulte d'un changement d'affectation du bâtiment, voire de sa démolition. Il apparaît clairement que les habitations 4 façades à un niveau (un second niveau peut être ajouté sous la toiture) sont les plus nombreuses. Nous décidons d'ajouter un bâtiment mitoyen à la liste car cette typologie réapparaît dans de nombreux projets de promotion immobilière : il permet, en effet, des économies d'énergie importantes.

SPF Economie, PME, Classes moyennes et Energie	Année de référence					
	2010			2011		
	Type de construction			Type de construction		
Statistique cadastrale du parc de bâtiments en Région wallonne	Maisons de type fermé	Maisons de type demi-fermé	Maisons de type ouvert, fermes, châteaux	Maisons de type fermé	Maisons de type demi-fermé	Maisons de type ouvert, fermes, châteaux
Date de dernière mise à jour: Vendredi 6 avril 2012, 5:42						
Caractéristiques	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre
Nombre de bâtiments	410989	351737	481138	412135	353824	485792
Nombre de bâtiments comportant 1 niveau	36539	77942	331874	36788	78823	335102
Nombre de bâtiments comportant 2 ou 3 niveaux	372730	273650	149170	373615	274855	150596
Nombre de bâtiments comportant 4 ou 5 niveaux	1683	109	48	1696	108	48
Nombre de bâtiments comportant plus de 5 niveaux	37	36	46	36	38	46
Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol inférieure à 45 m ²	30388	10101	1588	30361	10090	1649
Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol de 45 à 64 m ²	102705	48330	6347	102787	48414	6351
Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol de 65 à 104 m ²	185351	136143	96410	186053	137005	97030
Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol supérieure à 104 m ²	92545	157163	376793	92934	158315	380762

Tableau 21 - Statistique cadastrale du parc de bâtiments en région Wallonne

SPF Economie, PME, Classes moyennes et Energie	Pour l'année 2010		
	2011 - 2010		
	Type de construction		
	Maisons de type fermé	Maisons de type demi-fermé	Maisons de type ouvert, fermes, châteaux
Statistique cadastrale du parc de bâtiments en Région wallonne			
Date de dernière mise à jour: Vendredi 6 avril 2012, 5:42			
Caractéristiques	Nombre	Nombre	Nombre
Nombre de bâtiments	1146	2087	4654
Nombre de bâtiments comportant 1 niveau	249	881	3228
Nombre de bâtiments comportant 2 ou 3 niveaux	885	1205	1426
Nombre de bâtiments comportant 4 ou 5 niveaux	13	-1	0
Nombre de bâtiments comportant plus de 5 niveaux	-1	2	0
Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol inférieure à 45 m ²	-27	-11	61
Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol de 45 à 64 m ²	82	84	4
Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol de 65 à 104 m ²	702	862	620
Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol supérieure à 104 m ²	389	1152	3969

Par contre, si on se base sur les chiffres tirés de la base de données PEB, pour les maisons dont le permis a été rentré après le 1^{er} juin 2012, on remarque que l'Ach est de 179 m², ce qui correspond à peu près à notre maison 4 façades de référence.

Statistique BDD PEB	Type	Résultat
Moyenne Ach/Unité PEB	Appartements	114
Moyenne Ach/Unité PEB	Maisons	179
Moyenne Ach/Unité PEB	Ecoles (depuis 2010)	523
Moyenne Surface Déperdition/Bâtiment	Appartements	774
Moyenne Surface Déperdition/Bâtiment	Maisons	436
Moyenne Surface Déperdition/Bâtiment	Ecoles (Depuis 2010)	2.413
Moyenne Volume Protégé/Bâtiment	Appartements	699
Moyenne Volume Protégé/Bâtiment	Maisons	601
Moyenne Volume Protégé/Bâtiment	Ecoles (Depuis 2010)	530

Tableau 22 - Statistiques issues de la base de données PEB – maison unifamiliale

1.2.2. DONNÉES POUR LES IMMEUBLES D'APPARTEMENTS

Il est par contre plus difficile d'obtenir des chiffres aussi précis pour les immeubles d'appartements. Toutefois, nous pouvons nous baser sur les chiffres de permis de bâtir en 2011 (<http://statbel.fgov.be/>) (voir tableau ci-dessous) :

RESIDENTIEL Permis de bâtir 2011	NOUVELLES CONSTRUCTIONS				
	Nombre de bâtiments	Nombre de logements	Nombre d'appartements	Nombre de bâtiments avec un seul logement	Superficie habitable (m ²)
REGION WALLONNE	7.416	11.939	5.259	6.680	1.233.220

Tableau 23 - Nombre de permis de bâtir en 2011 pour les nouvelles constructions de type résidentiel

On peut en déduire :

- le nombre d'immeubles d'appartements : $7416 - 6680 = 736$;
- le nombre de logements dans des immeubles d'appartements : $11939 - 6680 = 5259$;
- le nombre moyen d'appartements par immeuble: $5259 / 736 = 7,15$;
- la surface moyenne par logement : $1233220 / 7416 = 104 \text{ m}^2$.

On en conclut donc qu'en moyenne un immeuble d'appartements comporte 7 logements.

Selon les chiffres de la BDD PEB, l'Ach moyen par appartement est de 114m². Par contre, il semble que les chiffres annoncés pour les volumes protégés ne soient pas cohérents, car cela correspond au plus à un immeuble comportant 3 appartements, ce qui est rare.

Statistique BDD PEB	Type	Résultat
Moyenne Ach/Unité PEB	Appartements	114
Moyenne Ach/Unité PEB	Maisons	179
Moyenne Ach/Unité PEB	Ecoles (depuis 2010)	523

Moyenne Surface Déperdition/Bâtiment	Type	Résultat
Moyenne Surface Déperdition/Bâtiment	Appartements	774
Moyenne Surface Déperdition/Bâtiment	Maisons	436
Moyenne Surface Déperdition/Bâtiment	Ecoles (Depuis 2010)	2.413

Moyenne Volume Protégé/Bâtiment	Type	Résultat
Moyenne Volume Protégé/Bâtiment	Appartements	699
Moyenne Volume Protégé/Bâtiment	Maisons	601
Moyenne Volume Protégé/Bâtiment	Ecoles (Depuis 2010)	530

Tableau 24 - Statistiques issues de la base de données PEB – immeuble d'appartements

Nous avons opté pour un immeuble d'appartements comportant 6 unités PEB, pour chacune d'entre-elles, l'Ach est de l'ordre de 100m² pour chaque appartement.

1.2.3. BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS NEUFS DE RÉFÉRENCE

Le tableau ci-dessous reprend de manière synthétique les 3 bâtiments résidentiels neufs choisis comme bâtiments de référence avec leur illustration. Deux bâtiments sont choisis pour le résidentiel unifamilial et un seul pour le multi-résidentiel. MN correspond à Maison Neuve et AN à Appartements Neufs.

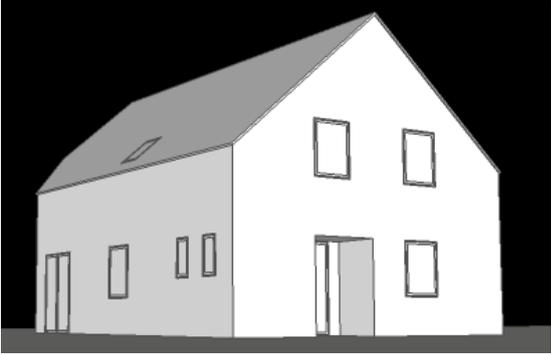
Bâtiment	Typologie	Illustration
MN1	Maison 4 façades, maçonnerie traditionnelle	
MN2	Maison mitoyenne, ossature bois	
AN1	Immeuble d'appartements	

Tableau 25 - Choix des bâtiments résidentiels neufs de référence

1.2.3.1. MN1 – Maison neuve 4 façades – construction traditionnelle

La première habitation étudiée est une habitation de type « villa » située dans un quartier résidentiel en dehors du centre-ville.

Le volume protégé de cette maison est délimité par les façades libres, par le plancher sur vide-ventilé et en toiture en partie par le plancher des combles et en partie par une toiture inclinée extérieure. Le grenier ne fait pas partie du volume protégé.

Au rez-de-chaussée on retrouve les pièces de vie et à l'étage les chambres et salle de bain. Les plans de l'habitation sont repris à l'annexe C.



Figure 10 - Vues 3D de l'habitation neuve MN1

INFORMATIONS GENERALES	
Programme: Maison unifamiliale neuve 4 façades - MN1	
Situation: Rochefort	
Architecte: A. Schmitz	
ENVELOPPE	
Ach	177,72m ²
Volume protégé	551m ³
Compacité	1,3

Tableau 26 - Informations générales MN1

GEOMETRIE			
Type de paroi	Orientation	Matériau	Surface
Mur extérieur		mur creux: maçonnerie portante, isolant, lame d'air et briques de parement	137,22m ²
Fenêtres N	NORD	Double vitrage Châssis bois Uw= 2,2 W/m ² .K Ug= 1,3 W/m ² .K	7,50m ²
Fenêtres O	OUEST		5,40m ²
Fenêtres SO	SUD-OUEST		4,00m ²
Fenêtres S	SUD		7,30m ²
Fenêtres SE	SUD-EST		4,90m ²
Fenêtres E	EST		6,90m ²
Fenêtres de toit	NORD		5,70m ²
Toit - plancher grenier		structure bois, isolation entre le gitage	69m ²
Toit - incliné extérieur			12,5m ²
Plancher (dalle sur sol)		béton armé	112,19m ²
Plancher (extérieur)			112,19m ²

Tableau 27 - Géométrie et composition parois MN1

1.2.3.2. MN2 – Maison neuve mitoyenne – ossature bois

La seconde habitation neuve étudiée est une habitation mitoyenne à la périphérie de la ville. Sur la photo ci-dessous (Figure 11), on peut voir que ce type d'habitation mitoyenne neuve est mis en œuvre dans le cadre d'un projet d'éco-quartier.

La maison a deux façades libres et deux murs mitoyens, qui eux ne sont pas des surfaces de déperdition. Le plancher est une dalle sur sol et la toiture est de type inclinée extérieure à 2 versants. La maison comprend deux niveaux : le rez-de-chaussée avec les pièces de vie et à l'étage (sous les pentes de toit), se trouvent les 2 chambres et une salle de bain.

Les plans de l'habitation sont repris à l'annexe D.



Figure 11 - Photo de l'habitation MN2

INFORMATIONS GENERALES	
Programme:	Maison unifamiliale neuve mitoyenne - MN2
Situation:	Tournai
Architecte:	Q. Wlibaux et E. Marcham
ENVELOPPE	
Ach	110,25m ²
Volume protégé	412m ³
Compacité	2,08

Tableau 28 - Informations générales MN2

GEOMETRIE			
Type de paroi	Orientation	Matériau	Surface
Mur extérieur		structure bois, isolation entre les éléments de structure	20,81 m ²
Fenêtres ENE	ENE	Double vitrage, Châssis bois	9,42 m ²
Fenêtres OSO	OSO	Uw= 2,2 W/m ² .K, Ug= 1,3 W/m ² .K	13,14 m ²
Toit - incliné extérieur		structure bois, isolation entre les éléments de structure	85,25 m ²
Plancher (dalle sur sol)		béton armé	69,62 m ²

Tableau 29 - Géométrie et composition parois MN2

1.2.3.3. AN – Immeuble d'appartements neuf

L'immeuble d'appartements neuf étudié comprend 4 niveaux : le sous-sol avec les caves et à chaque niveau supérieur se trouvent deux appartements, donc 6 au total.

Le bâtiment est caractérisé par quatre façades libres. Le plancher est une dalle sur cave et la toiture est composée de deux versants. L'ensemble de ces parois constituent les parois de déperdition du volume protégé.



Figure 12 - Photos de l'immeuble d'appartements AN

L'organisation intérieure des espaces est identique d'un appartement à un autre ; il comprend deux zones, à savoir :

- une zone jour située vers la façade principale avant (façade nord) ;
- une zone nuit située à l'arrière (façade sud) comprenant deux chambres et une salle-de-bain.

Les plans et coupes se trouvent à l'Annexe H.

Les deux tableaux suivants indiquent les informations générales et la composition des parois du bâtiment.

INFORMATIONS GÉNÉRALES	
PROGRAMME	Immeuble d'appartement neuf – AN
IMPLANTATION	Juprelle
ARCHITECTE	E. Timmermans
ENVELOPPE	
S_{UT}	770,3 m ²
A_{CH}	689,6 m ²
VOLUME PROTÉGÉ	2178,94 m ³
COMPACITÉ	2,01 m

Tableau 30 - Informations générales AN

GÉOMÉTRIE			
Type de paroi	Orientation	Matériau	Surface
Mur extérieur	NORD et SUD	Mur creux, structure en maçonnerie	431,12
Fenêtres avant	NORD	Double vitrage, châssis PVC $U_w = 2,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $U_g = 1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	104,02
Fenêtres arrière	SUD		
Fenêtres côté	OUEST et EST		
Toit incliné		Structure bois, isolation entre les éléments de structure	279,55
Plancher	contre cave	Béton lourd	212,41
Plancher	sur sol	Béton lourd	18,01

Tableau 31 - Géométrie et composition parois AN

2. BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS EXISTANTS

La situation actuelle en Région Wallonne est l'existence d'exigences minimales à respecter sur la performance énergétique des éléments de bâtiments (U_{max}). Notre analyse « coût optimum » se basera donc sur ces exigences actuelles.

L'ensemble des mesures / groupes / variantes étudié pour les bâtiments résidentiels existants est construit à partir de modifications des parois opaques, des fenêtres (vitrage seul ou vitrage et châssis), du plancher et de la toiture.

Les différentes options envisagées suivent ce canevas, pour une même paroi :

- la première opération effectuée lors de la rénovation est une opération qui permet d'atteindre l'exigence sur les U_{max} en vigueur ;
- la seconde opération est une opération qui permet d'atteindre l'exigence qui sera applicable à partir du 1^{er} janvier 2014 ;
- la troisième opération correspond à un niveau de performance de la paroi qui se situe entre celle qui sera exigée en 2014 et celle recommandée pour atteindre le standard passif ;
- la quatrième et dernière opération correspond aux recommandations liées au standard passif.

2.1 CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DES QUATRE SCÉNARIIS ÉTUDIÉS

Afin de mieux comprendre ces différentes options envisagées, le tableau suivant reprend les caractéristiques thermiques des parois selon l'option de rénovation choisie :

	U2012		U2014		U3		Upassif	
PAROIS OPAQUES								
façades	0,32		0,24		0,2		0,15	
mitoyen	1		1		1		0,8	
sol	0,35		0,3		0,24		0,15	
toiture	0,27		0,24		0,2		0,15	
PAROIS TRANSLUCIDES								
	Uw	Ug	Uw	Ug	Uw	Ug	Uw	Ug
fenêtres	2,2	1,3	1,8	1,1	1,4	0,8	0,8	0,5
	g=0,63		g=0,50		g=0,38		g=0,50	
porte	2,2		2		1,5		0,8	

Tableau 32 - Caractéristiques thermiques des parois (U en W/m^2K) pour les habitations résidentielles existantes

2.2 LISTE DES GROUPES DE MESURES ENVISAGÉS

Les groupes de mesures générales qui sont envisagées par la suite sont les suivants :

- remplacement du vitrage seul : V ;
- remplacement des fenêtres : F ;
- isolation du toit seul : Utoit ;
- remplacement du vitrage et isolation du toit : V + Utoit ;

- remplacement des fenêtres et isolation du toit : F + Utoit ;
- remplacement des fenêtres, isolation du toit et des parois opaques : F + Utoit + Umur ;
- remplacement des fenêtres, isolation du toit, des parois opaques et du sol : F + Utoit + Umur + Usol.

Les combinaisons de toutes ces mesures dépendent du bâtiment de référence. Par exemple, quand on s'intéresse à l'isolation des parois opaques, nous n'envisageons pas d'isoler par l'extérieur une façade à rue d'une maison mitoyenne car on ne peut modifier l'alignement des façades. Nous avons donc tenu compte des particularités des situations étudiées.

2.3 LISTE DES VARIANTES

2.3.1 MAISON URBAINE MOYENNE DÉBUT 20^{ÈME} SIÈCLE – ME1

La première habitation unifamiliale étudiée (ME1) est une maison mitoyenne située en ville, et construite au début du 20^{ème} siècle.

Les façades de cette habitation mitoyenne sont des murs pleins en maçonnerie. Le volume protégé est délimité par les 2 façades libres et par les 2 façades mitoyennes, par un plancher sur cave, en partie par le plancher du grenier et en partie par une toiture plate extérieure.

Les fenêtres existantes sont composées de simple vitrage avec un facteur solaire de 0,85. L'isolation des parois mitoyennes n'est envisagée que lorsque la rénovation énergétique est très poussée, c'est-à-dire dans le cas du passif.

Pour l'isolation des parois opaques, nous envisageons, encore une fois, deux possibilités :

- soit, l'isolation à l'intérieur pour la façade à rue et à l'extérieur pour la façade arrière. En effet, on ne peut modifier l'alignement des façades à rue (mentionné Umur (ext&int)).
- soit, uniquement l'isolation par l'extérieur pour la façade arrière et pas d'isolation pour la façade à rue (mentionné Umur ext).

L'isolation du plancher sur cave se fera par la cave (l'extérieur, Usol ext).

Pour la toiture plate, on envisage une nouvelle isolation par l'extérieur, pour créer une toiture chaude. Et pour le plancher du grenier, l'isolation sera placée sur ce plancher (c'est-à-dire également une isolation par l'extérieur).

Ci-dessous, voici le tableau des variantes envisagées pour la maison mitoyenne ME1.

Groupes de mesures / variantes					
Enveloppe					
Cas	Parois transparentes	Toitures	Parois opaques	Sols	Infiltration
0	-	-	-	-	14,9
1	V 2012	-	-	-	14,9
2	V 2014	-	-	-	14,9
3	V 3	-	-	-	14,9
4	F 2012	-	-	-	11,46
5	F 2014	-	-	-	11,46

6	F 3	-	-	-	11,46
7	-	Utoit 2012	-	-	14,45
8	-	Utoit 2014	-	-	14,45
8bis	-	Utoit 3	-	-	14,45
9	V 2012	Utoit 2012	-	-	14,45
10	V 2014	Utoit 2012	-	-	14,45
11	V 3	Utoit 2012	-	-	14,45
12	F 2012	Utoit 2012	-	-	11,01
13	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012 (ext&int)	-	10,42
14	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012 (ext&int)	U sol 2012 ext	10,01
15	F 2014	U toit 2014	-	-	11,01
16	F 2014	U toit 2014	U mur 2012 (ext&int)	-	10,42
17	F 2014	U toit 2014	U mur 2014 (ext&int)	-	10,42
18	F 2014	U toit 2014	U mur 2014 (ext&int)	U sol 2014 ext	10,01
19	F 3	U toit 3	-	-	11,01
20	F 3	U toit 3	U mur 3 (ext&int)	-	10,42
21	F 3	U toit 3	U mur 3 (ext&int)	U sol 3 ext	10,01
22	F passif	U toit passif	U mur passif (ext&int)	U sol passif ext	9,00
23	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012 ext	-	10,65
24	F 2012	Utoit 2012	U mur 2012 ext	U sol 2012 ext	10,30
25	F 2014	U toit 2014	U mur 2012 ext	-	10,65
26	F 2014	U toit 2014	U mur 2014 ext	-	10,65
27	F 2014	U toit 2014	U mur 2014 ext	U sol 2014 ext	10,30
28	F 3	U toit 3	U mur 3 ext	-	10,65
29	F 3	U toit 3	U mur 3 ext	U sol 3 ext	10,30

Tableau 33 - Ensemble des variantes étudiées pour la maison mitoyenne existante – ME1

Le système de chauffage installé dans l'habitation existante est une chaudière non à condensation au gaz avec un rendement de 82%. L'eau chaude sanitaire est produite instantanément par la chaudière. L'habitation ne possède pas de système complet de ventilation de type 'A'.

2.3.2 MAISON 4 FAÇADES (MAISON DE TYPE LOTISSEMENT DES ANNÉES 80) – ME2

La deuxième habitation unifamiliale étudiée est une maison de type « villa » quatre façades située dans un lotissement en périphérie de la ville et datant des années 80.

Les façades de cette maison sont des murs creux constitués de blocs de béton de 20cm (porteur), d'un isolant en laine minérale de 3cm, d'une coulisse ventilée de 3cm et d'une brique de parement. Le volume protégé est délimité par ces 4 façades libres, par un plancher sur sol, en partie par le plancher du grenier et en partie par une toiture à versants. L'habitation est en partie isolée : la toiture présente 4cm de laine minérale et les murs 3cm de laine minérale. Le sol, quant à lui, n'est pas isolé.

Les fenêtres existantes sont composées de simple vitrage avec un facteur solaire de 0,85.

Pour l'isolation des parois opaques, nous envisageons deux possibilités :

- soit l'isolation à l'extérieur pour les 4 façades (mentionné Umur (4ext)) ;
- soit l'isolation par l'intérieur pour la façade de « caractère » (à rue) et par l'extérieur pour les trois autres façades (mentionné Umur (3ext/1int)).

L'isolation de la coulisse n'est pas envisagée dans ce cas, car les 3 cm disponibles ne permettent pas d'atteindre l'exigence minimale.

Pour l'isolation du sol, étant donné que nous sommes en présence d'une dalle sur sol, seule l'isolation sur la dalle peut être réalisée (c'est-à-dire une isolation par l'intérieur, Usol int).

Pour la toiture inclinée, on envisage une isolation par l'intérieur, par exemple entre les chevrons de la structure du toit. Tandis que pour le plancher du grenier, l'isolation sera placée sur ce plancher (c'est-à-dire une isolation par l'extérieur).

Le tableau des variantes envisagées pour la maison 4 façades « ME2 » est donné ci-dessous.

Groupes de mesures / variantes					
Cas	Enveloppe				
	Parois transparentes	Toitures	Parois opaques	Sols	Infiltration
0	-	-	-	-	17,1
1	V 2012	-	-	-	17,1
2	V 2014	-	-	-	17,1
3	V3	-	-	-	17,1
4	F 2012	-	-	-	15,18
5	F 2014	-	-	-	15,18
6	F3	-	-	-	15,18
7	-	Utoit 2012	-	-	16,65
8	-	Utoit 2014	-	-	16,65
8bis	-	Utoit 3	-	-	16,65
9	V 2012	U toit 2012	-	-	16,65
10	V 2014	U toit 2012	-	-	16,65
11	V3	U toit 2012	-	-	16,65
12	F 2012	U toit 2012	-	-	14,73
13	F 2012	U toit 2012	U mur 2012 (4ext)	-	13,81
14	F 2012	U toit 2012	U mur 2012 (4ext)	U sol 2012 int	13,03
15	F 2014	U toit 2014	-	-	14,73
16	F 2014	U toit 2014	U mur 2012 (4ext)	-	13,81
17	F 2014	U toit 2014	U mur 2014 (4ext)	-	13,81
18	F 2014	U toit 2014	U mur 2014 (4ext)	U sol 2014 int	13,03
19	F3	U toit 3	-	-	14,73
20	F3	U toit 3	U mur 3 (4ext)	-	13,81
21	F3	U toit 3	U mur 3 (4ext)	U sol 3 int	13,03
22	F passif	U toit passif	U mur passif (4ext)	U sol passif int	12,05

23	F 2012	U toit 2012	U mur 2012 (3ext/1int)	-	13,81
24	F 2012	U toit 2012	U mur 2012 (3ext/1int)	U sol 2012 int	13,03
25	F 2014	U toit 2014	U mur 2012 (3ext/1int)	-	13,81
26	F 2014	U toit 2014	U mur 2014 (3ext/1int)	-	13,81
27	F 2014	U toit 2014	U mur 2014 (3ext/1int)	U sol 2014 int	13,03
28	F3	U toit 3	U mur 3 (3ext/1int)	-	13,81
29	F3	U toit 3	U mur 3 (3ext/1int)	U sol 3 int	13,03

Tableau 34 - Ensemble des variantes étudiées pour la maison type "villa" 4 façades existante

Le système de chauffage installé dans l'habitation existante est une chaudière non à condensation au mazout avec un rendement de 75% (l'habitation n'étant pas desservie par le gaz). L'eau chaude sanitaire est produite, indépendamment, par un boiler électrique. L'habitation ne possède pas de système complet de ventilation de type 'A'.

2.3.3 APPARTEMENTS DANS UN BÂTIMENT DIVISÉ EN PLUSIEURS UNITÉS DE LOGEMENT – AE1

Le premier bâtiment d'appartements étudié est un bâtiment mitoyen situé en ville et divisé en plusieurs unités de logement. Il est composé d'un bâtiment principal non isolé et d'une annexe construite par après. Cette dernière, plus récente, est isolée mais pas suffisamment pour répondre aux exigences minimales de la performance énergétique de la Région wallonne.

Les façades du bâtiment principal sont constituées de murs pleins en maçonnerie. La façade de l'annexe (arrière) est caractérisée par un mur de type creux, c'est-à-dire par : des blocs béton de 14 cm, un isolant en laine minérale de 4 cm, une coulisse ventilée de 3 cm et une brique de parement. Les deux façades libres, les deux murs mitoyens, les planchers sur cave et sur sol et les toitures inclinées et plates délimitent le volume protégé.

Les fenêtres existantes présentent un simple vitrage dont le facteur solaire est de 0,85.

En ce qui concerne l'isolation des parois opaques, elle sera envisagée :

- soit, par l'intérieur pour la façade à rue et par l'extérieur pour la façade arrière. $U_{\text{mur-ext/int}}$ désigne l'opération d'isolation de la façade à rue par l'intérieur et de la façade arrière par l'extérieur. On note que l'isolation des parois mitoyennes est envisagée seulement dans le cas du passif.
- soit, par l'extérieur uniquement pour la façade arrière (noté par $U_{\text{mur-ext}}$). Par contre, la façade à rue n'est pas isolée dans ce cas.

L'isolation par la coulisse de la façade de l'annexe n'est pas envisagée car la coulisse ventilée ne présente pas une épaisseur suffisante afin de respecter le U_{max} actuel de la paroi.

Des caves étant présentes sous le bâtiment principal, l'isolation du sol peut s'effectuer par la cave (l'extérieur), noté $U_{\text{sol-ext}}$. Par contre, le plancher de l'annexe sera isolé sur la dalle (l'intérieur, $U_{\text{sol-int}}$) car il ne présente pas de cave.

L'isolation de la toiture à double pente est réalisée par l'intérieur. Le toit du bâtiment principal fait donc partie du volume chauffé car celui-ci abrite un dernier appartement. Pour la toiture plate, l'isolation est placée par l'extérieur (création d'une toiture chaude).

Le tableau ci-dessous présente un nombre de combinaisons de mesures/variantes doublé vu la

présence de deux volumes distincts. Il faut noter que pour les groupes de mesures moins exigeants, il est préférable d'envisager, dans un premier temps, ceux concernant le bâtiment principal et dans un second temps, ceux relatifs à l'annexe étant donné que les performances de l'enveloppe du bâtiment principal sont moindres et que ce dernier compte un plus grand volume. Les mesures concernant l'annexe sont distinguées des autres par un indice «A».

Cas	Groupes de mesures / variantes Enveloppe								
	Bâtiment principal				Annexe				Infiltration [m ³ /h.m ²]
	V	Toiture	Parois opaques	Sols	V _A	Toiture	Parois opaques	Sols	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	14,9
1	V ₂₀₁₂	-	-	-	-	-	-	-	14,9
2	V ₂₀₁₄	-	-	-	-	-	-	-	14,9
3	V ₃	-	-	-	-	-	-	-	14,9
4	F ₂₀₁₂	-	-	-	-	-	-	-	11,95
5	F ₂₀₁₄	-	-	-	-	-	-	-	11,95
6	F ₃	-	-	-	-	-	-	-	11,95
7	-	U _{toit2012}	-	-	-	-	-	-	14,41
8	-	U _{toit2014}	-	-	-	-	-	-	14,41
8bis	-	U _{toit3}	-	-	-	-	-	-	14,41
9	V ₂₀₁₂	U _{toit2012}	-	-	-	-	-	-	14,41
10	V ₂₀₁₄	U _{toit2014}	-	-	-	-	-	-	14,41
11	V ₃	U _{toit2012}	-	-	-	-	-	-	14,41
12	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	-	-	-	-	-	-	11,46
13	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	-	-	-	-	-	10,77
14	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	-	-	-	-	10,17
15	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V ₂₀₁₂ A	-	-	-	10,17
16	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V ₂₀₁₄ A	-	-	-	10,17
17	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V ₃ A	-	-	-	10,17
18	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	-	U _{toit2012} A	-	-	10,17
19	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	-	U _{toit2014} A	-	-	10,17
20	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V ₂₀₁₂ A	U _{toit2012} A	-	-	10,17
21	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V ₂₀₁₄ A	U _{toit2012} A	-	-	10,17
22	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V ₃ A	U _{toit2012} A	-	-	10,17
23	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	F ₂₀₁₂ A	U _{toit2012} A	-	-	10,17
24	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	F ₂₀₁₂ A	U _{toit2012} A	U _{mur2012-int} A	-	10,17
25	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	F ₂₀₁₂ A	U _{toit2012} A	U _{mur2012-int} A	U _{sol2012-int} A	10,17
26	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	-	-	-	-	-	-	11,46
26'	F ₃	U _{toit3}	-	-	-	-	-	-	11,46
27	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2012-ext}	-	-	-	-	-	10,77
28	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	-	-	-	-	-	10,77
29	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	U _{sol2014-ext}	-	-	-	-	10,17
30	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	U _{sol2014-ext}	-	U _{toit2014} A	-	-	10,17
30'	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext}	U _{sol3-ext}	-	U _{toit3} A	-	-	10,17
31	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	U _{sol2014-ext}	F ₂₀₁₄ A	U _{toit2014} A	-	-	10,17
32	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	U _{sol2014-ext}	F ₂₀₁₄ A	U _{toit2014} A	U _{mur2014-int} A	-	10,17
32'	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext}	U _{sol3-ext}	F ₃ A	U _{toit3} A	U _{mur3-int} A	-	10,17
33	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	U _{sol2014-ext}	F ₂₀₁₄ A	U _{toit2014} A	U _{mur2014-int} A	U _{sol2014-int} A	10,17
33'	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext}	U _{sol3-ext}	F ₃ A	U _{toit3} A	U _{mur3-int} A	U _{sol3-int} A	10,17

34	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	-	-	-	-	-	11,04
35	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	-	-	-	-	10,51
36	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	V ₂₀₁₂ A	-	-	-	10,51
37	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	V ₂₀₁₄ A	-	-	-	10,51
38	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	V ₃ A	-	-	-	10,51
39	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	-	U _{toit1} A	-	-	10,51
40	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	-	U _{toit2} A	-	-	10,51
41	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	V ₂₀₁₂ A	U _{toit2012} A	-	-	10,51
42	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	V ₂₀₁₄ A	U _{toit2012} A	-	-	10,51
43	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	V ₃ A	U _{toit2012} A	-	-	10,51
44	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	F ₂₀₁₂ A	U _{toit2012} A	-	-	10,51
45	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	F ₂₀₁₂ A	U _{toit2012} A	U _{mur2012-int} A	-	10,51
46	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext/int}	U _{sol2012-ext}	F ₂₀₁₂ A	U _{toit2012} A	U _{mur2012-int} A	U _{sol2012-int} A	10,51
47	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext/int}	-	-	-	-	-	11,04
48	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext/int}	-	-	-	-	-	11,04
49	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext/int}	U _{sol2014-ext}	-	-	-	-	10,51
50	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext/int}	U _{sol2014-ext}	-	U _{toit2014} A	-	-	10,51
51	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext/int}	U _{sol2014-ext}	F ₂₀₁₄ A	U _{toit2014} A	-	-	10,51
51'	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext/int}	U _{sol3-ext}	F ₃ A	U _{toit3} A	-	-	10,51
52	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext/int}	U _{sol2014-ext}	F ₂₀₁₄ A	U _{toit2014} A	U _{mur2014-int} A	-	10,51
53	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext/int}	U _{sol2014-ext}	F ₂₀₁₄ A	U _{toit2014} A	U _{mur2014-int} A	U _{sol2014-int} A	10,51
54	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext/int}	U _{sol3-ext}	F ₃ A	U _{toit3} A	U _{mur3-int} A	-	10,51
55	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext/int}	U _{sol3-ext}	F ₃ A	U _{toit3} A	U _{mur3-int} A	U _{sol3-int} A	10,51
56	F _{pas}	U _{toit-pas}	U _{mur-pas-ext/int}	U _{sol-pas-ext}	F _{pas} A	U _{toit-pas} A	U _{mur-pas-int} A	U _{sol-pas-ext} A	9,34
57	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext}	-	-	-	-	-	10,77
58	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext}	U _{sol3-ext}	-	-	-	-	10,17
59	F _{pas}	U _{toit-pas}	U _{mur-pas-ext}	U _{sol-pas-ext}	-	-	-	-	9,34
59'	F _{pas}	U _{toit-pas}	U _{mur-pas-ext} *	U _{sol-pas-ext}	-	-	-	-	9,34
60	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext/int}	-	-	-	-	-	11,04
61	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext/int}	U _{sol3-ext}	-	-	-	-	10,51
62	F _{pas}	U _{toit-pas}	U _{mur-pas-ext/int}	U _{sol-pas-ext}	-	-	-	-	9,34
62'	F _{pas}	U _{toit-pas}	U _{mur-pas-ext/int} *	U _{sol-pas-ext}	-	-	-	-	9,34

Tableau 35 - Ensemble des variantes étudiées pour les appartements dans un bâtiment divisé en plusieurs unités de logement (AE1)

*avec mitoyen

Le bâtiment étant alimenté par le gaz, le système de chauffage installé dans l'immeuble à appartements est une chaudière sans condensation au gaz naturel. Son rendement est de 82%. L'eau chaude sanitaire est produite instantanément par la chaudière. L'immeuble d'appartements présente un système de ventilation de type 'A' non complet.

2.3.4 IMMEUBLE D'APPARTEMENTS, TYPE « ETRIMMO », ANNÉES 60-70 – AE2

Le second bâtiment d'appartements étudié est un bâtiment mitoyen situé en ville de type « Etrimmo ».

Les façades du bâtiment sont constituées de murs creux non isolés. Le volume protégé est délimité par les deux façades libres, les deux murs mitoyens, les planchers sur garage et sur sol et la toiture plate.

Les fenêtres existantes présentent un simple vitrage dont le facteur solaire est de 0,85.

L'isolation des parois opaques sera réalisée par l'extérieur aussi bien pour la façade arrière que pour celle à rue. Dans le cas du standard passif, l'isolation des murs comprend en plus celle des parois mitoyennes. L'option d'isoler les murs par la coulisse ventilée est écartée car cette dernière ne présente pas une épaisseur suffisante afin de respecter le U_{max} actuel de la paroi.

En ce qui concerne le plancher, l'isolation est envisagée par les garages (isolation extérieure) et sur sol (isolation intérieure) au niveau des espaces communs. Cette mesure est mentionnée par $U_{sol-ext/int}$.

Cas	Groupes de mesures / variantes				
	Enveloppe				
	Parois transparentes	Toitures	Parois opaques	Sols	Infiltration [m ³ /h.m ²]
0	-	-	-	-	14,1
1	V ₂₀₁₂	-	-	-	14,1
2	V ₂₀₁₄	-	-	-	14,1
3	V ₃	-	-	-	14,1
4	F ₂₀₁₂	-	-	-	10,47
5	F ₂₀₁₄	-	-	-	10,47
6	F ₃	-	-	-	10,47
7	-	U _{toit2012}	-	-	13,9
8	-	U _{toit2014}	-	-	13,9
8bis	-	U _{toit3}	-	-	13,9
9	V ₂₀₁₂	U _{toit2012}	-	-	13,9
10	V ₂₀₁₄	U _{toit2012}	-	-	13,9
11	V ₃	U _{toit2012}	-	-	13,9
12	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	-	-	10,28
13	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	-	9,41
14	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	9,22
15	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	-	-	10,28
16	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2012-ext}	-	9,41
17	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	-	9,41
18	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	U _{sol2014-ext}	9,22

19	F ₃	U _{toit3}	-	-	10,28
20	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext}	-	9,41
21	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-ext}	U _{sol3-ext}	9,22
22	F _{pas}	U _{toit-pas}	U _{mur-pas-ext} *	U _{sol-pas-ext}	8,10
23	F _{pas}	U _{toit-pas}	U _{mur-pas-ext}	U _{sol-pas-ext}	8,10

Tableau 36 - Ensemble des variantes étudiées pour l'immeuble d'appartements de type "Etrimmo" (AE2)

Le bâtiment étant alimenté par le gaz, le système de chauffage installé dans l'immeuble à appartements est une chaudière sans condensation au gaz naturel. Son rendement est de 82%.

L'eau chaude sanitaire est produite instantanément par la chaudière. Le système de ventilation du bâtiment est de type 'A' et est non complet.

2.4 HYPOTHÈSES DE SIMULATION PEB ET CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES DES HABITATIONS EXISTANTES (ME1 ET ME2)

2.4.1 NŒUDS CONSTRUCTIFS

Les exigences sur les nœuds constructifs ne sont pas d'application lors de la rénovation simple d'un bâtiment dans la réglementation PEB.

2.4.2 ETANCHÉITÉ À L'AIR

Pour les bâtiments existants, le débit de fuite par unité de surface introduit pour le bâtiment de base (avant travaux de rénovation) est une valeur tirée de l'étude TABULA (<http://www.building-typology.eu/>). Cette valeur est fonction de la typologie étudiée.

Quand on remplace les fenêtres, que l'on isole le toit et/ou les murs, l'étanchéité du bâtiment est améliorée. On considère dès lors une valeur différente du débit d'infiltration / exfiltration.

Débit de fuite (m ³ /h.m ²)	Maison mitoyenne 2 façades – ME1	Maison « villa » 4 façades – ME2
Situation existante – bâtiment « base »	14.9	17.1
Remplacement des fenêtres	11.46	15.18
Isolation du toit	14.45	16.65
Remplacement des fenêtres et isolation du toit	11.01	14.73
Remplacement des fenêtres, isolation du toit et des murs	10.42 (10.65*)	13.81
Remplacement des fenêtres, isolation du toit, des murs et du sol	10.07 (10.30*)	13.3
Remplacement des fenêtres, isolation du toit, des murs et du sol – PASSIF	9.00	12.05

*cas où l'isolation se fait uniquement pour la façade arrière, par l'extérieur

Tableau 37 - Etanchéité à l'air des habitations résidentielles existantes ME1 et ME2

Ces valeurs ont été calculées sur base du Tableau 38 dans lequel sont reprises les performances actuelles d'étanchéité à l'air des menuiseries extérieures. La classe 2 correspond à un double vitrage ancien et peu performant, la classe 4 correspond à un double vitrage performant et la classe 6 correspond à du triple vitrage passif. En plus de ces 3 classes, nous avons considéré une classe supplémentaire qui serait l'équivalent de la classe 1, simple vitrage, avec une valeur de débit de fuite maximum à 50Pa de 25m³/h.m².

De plus, lorsqu'une paroi est ré isolée, on considère une amélioration d'étanchéité de la paroi considérée de 12,5% par rapport au cas existant (bâtiment de base). L'épaisseur de la nouvelle isolation mise en place n'influencera pas ce pourcentage. En effet, c'est plus la finition, que l'isolant en lui-même, qui permettra d'améliorer l'étanchéité.

Lorsqu'une isolation très performante du bâtiment est mise en place, comme pour le passif, on considère que l'amélioration d'étanchéité d'une paroi est de 20%. Car pour ce type de rénovation, une attention particulière doit être portée sur l'étanchéité à l'air !

Les pourcentages d'amélioration d'étanchéité des parois sont repris d'une étude réalisée par l'Université de Gand et le CSTC sur l'isolation de la coulisse des murs. Les conclusions de l'étude révèlent qu'isoler la coulisse des murs améliore de 5 à 20% l'étanchéité à l'air. Nous avons donc pris une valeur moyenne de 12,5%, et cela pour toutes les parois du bâtiment et pour tous les variantes d'isolation, excepté le passif. En effet, pour le passif, nous avons considéré la valeur maximale de l'étude, qui permettrait une amélioration de 20% de l'étanchéité à l'air.

Les calculs se trouvent à l'annexe E.

Les performances actuelles des menuiseries extérieures

Les performances d'étanchéité à l'air des 300 derniers éléments testés au laboratoire sont reprises dans le tableau 2.

Tableau 2 Répartition statistique de la performance d'étanchéité à l'air des 300 derniers éléments testés au laboratoire

Classe	Oscillobattants et ouvrants simples	Double ouvrants	Coulissants (tous types)	Éléments assemblés
2 (débit maximum à 50 Pa : 17 m ³ /h.m ²)	0 %	1,5 %	0 %	0 %
3 (débit maximum à 50 Pa : 5,67 m ³ /h.m ²)	8,0 %	7,6 %	18,4 %	6,8 %
4 (débit maximum à 50 Pa : 1,89 m ³ /h.m ²)	26,1 %	40,9 %	34,2 %	49,2 %
5 (débit maximum à 50 Pa : 0,76 m ³ /h.m ²)	27,3 %	24,2 %	36,8 %	27,1 %
6 (débit maximum à 50 Pa : 0,38 m ³ /h.m ²)	38,6 %	25,8 %	10,5 %	16,9 %

Tableau 38 - Performances actuelles d'étanchéité à l'air des menuiseries extérieures

2.4.3 INERTIE

L'inertie de l'habitation 4 façades type « villa » (ME2) ainsi que l'habitation mitoyenne en ville (ME1) est une inertie de type « MI-LOURD ». C'est-à-dire, dans ce cas, qu'au moins 90% des éléments de construction verticaux et inclinés sont massifs (masse d'au moins 100kg/m² en ne considérant que

les couches situées entre l'intérieur et une lame d'air ou une couche possédant une conductivité thermique inférieure à 0.20W/m.K).

2.4.4 OMBRAGE

L'ombrage de toutes les fenêtres est laissé par défaut dans le logiciel PEB.

2.4.5 PROTECTIONS SOLAIRES

Pour les habitations existantes, aucune protection solaire intérieure ou extérieure ne sera considérée.

2.4.6 VENTILATION

Nous considérons que le système de ventilation dans ces habitations existantes est un système de type A (avec des amenées d'air et des évacuations d'air naturelles) mais que ce système est incomplet.

	Maison mitoyenne 2 façades – ME1 Système A	Maison « villa » 4 façades – ME2 Système A
Ventilation à la demande	NON	NON
Ventilateur sert au chauffage de l'air	NON	NON
Qualité d'exécution	Par défaut	Par défaut

Tableau 39 - Caractéristiques des systèmes de ventilation des habitations résidentielles existantes

2.4.7 CHAUFFAGE

Comme décrit plus haut, la maison de type « villa » utilise le mazout pour se chauffer tandis que la maison de ville mitoyenne utilise le gaz naturel. Les caractéristiques des deux systèmes sont reprises dans le tableau ci-dessous.

	Maison mitoyenne 2 façades – ME1 CNC gaz	Maison « villa » 4 façades – ME2 CNC mazout
rendement à 30% de charge	82%	75%
Hors du volume protégé	oui	Oui
T° de retour à 30% de charge		
chaudière maintenue en t°	oui	Oui
valeur par défaut pour la T° de retour		
veilleuse	oui	
ventilateur	non	oui
régulation électronique	non	Non
Système de stockage	absent	absent
Auxiliaire circulateur	Par unité avec	Par unité avec

	régulation	régulation
Distribution	Calcul simplifié + conduites hors Volume Protégé	Calcul simplifié + conduites hors Volume Protégé
émission	Calcul simplifié	Calcul simplifié
Emetteurs devant vitrage	Non	Non
Régulation T° ambiante local par local	Oui	Oui
T° eau/air départ constante	Oui	Oui

Tableau 40 - Caractéristiques des systèmes de chauffage des habitations résidentielles existantes ME1 et ME2

2.4.8 EAU CHAUDE SANITAIRE

L'eau chaude sanitaire est produite par un boiler électrique dans l'habitation « villa » (ME2) et alimente un évier dans la cuisine ainsi qu'une douche et une baignoire dans la salle de bain.

Pour l'habitation mitoyenne de ville (ME1), c'est la chaudière non à condensation au gaz qui produit l'eau chaude sanitaire pour alimenter un évier et une baignoire. Il s'agit d'une production instantanée, sans ballon de stockage. Les caractéristiques de ces deux installations sont les suivantes :

	Maison mitoyenne 2 façades – ME1	Maison « villa » 4 façades – ME2
système	Appareil à combustion au gaz	Boiler électrique
Présence ballon de stockage	non	oui
veilleuse	oui	
Boucle de circulation	Non	Non
Points de puisage	Un évier + un bain	Un évier + un bain + une douche
Longueur des conduites	4m et 10 m	5m et 10m et 11m

Tableau 41 - Caractéristiques des systèmes d'ECS des habitations résidentielles existantes ME1 et ME2

2.5 HYPOTHÈSES DE SIMULATION PEB ET CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES DES IMMEUBLES D'APPARTEMENTS EXISTANTS (AE1 ET AE2)

2.5.1 NŒUDS CONSTRUCTIFS

Les nœuds constructifs ne sont pas pris en compte dans le cas d'un bâtiment soumis à des travaux de rénovation.

2.5.2 ETANCHÉITÉ À L'AIR

Pour les bâtiments résidentiels collectifs existants (avant rénovation), la valeur du débit de fuite par unité de surface provient des valeurs données par l'étude TABULA. Ces dernières dépendent de la

typologie étudiée.

Une fois les fenêtres remplacées, les toits et/ou les murs et les sols isolés, le débit de fuite diminue, améliorant ainsi l'étanchéité à l'air. Ces valeurs sont déterminées dans le tableau ci-dessous.

Débit de fuite ($\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$)	Appartements dans un bâtiment divisé en plusieurs unités de logement – AE1	Immeuble d'appartements type « Etrimmo » – AE2
Situation existante – bâtiment « base »	14.9	14.1
Remplacement des fenêtres	11.95	10.47
Isolation du toit	14.41	13.9
Remplacement des fenêtres et isolation du toit	11.46	10.28
Remplacement des fenêtres, isolation du toit et des murs	11.04 (10.77*)	9.41
Remplacement des fenêtres, isolation du toit, des murs et du sol	10.51 (10.17*)	9.22
Remplacement des fenêtres, isolation du toit, des murs et du sol – PASSIF	9.34	8.1

*cas où l'isolation se fait uniquement pour la façade arrière, par l'extérieur

Tableau 42 - Etanchéité à l'air des habitations résidentielles existantes AE1 et AE2

La méthodologie utilisée est similaire à celle suivie pour les maisons unifamiliales. Les calculs détaillés de ces valeurs d'étanchéité à l'air sont données dans l'Annexe I.

2.5.3 INERTIE

L'inertie des deux immeubles d'appartements est une inertie de type « MI-LOURD » : Au moins 90% des éléments de construction verticaux et inclinés (ou horizontaux) sont massifs.

☐ Élément massif

- masse d'au moins $100 \text{ kg}/\text{m}^2$ en partant de l'intérieur jusqu'à un vide d'air ou une couche à conductivité thermique inférieure à $0,2 \text{ W}/\text{mK}$.
- → Transposition chiffrée des classes d'inertie dans la méthode de calcul PEB

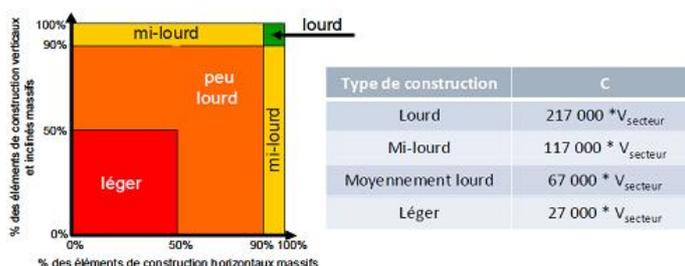


Figure 13 - Classes d'inertie

2.5.4 OMBRAGE

Les valeurs pour l'ombrage des fenêtres sont les valeurs par défaut utilisées dans le logiciel PEB.

2.5.5 PROTECTIONS SOLAIRES

Aucune protection solaire intérieure ou extérieure n'est placée pour les bâtiments existants.

2.5.6 VENTILATION

Un système de ventilation de type A (amenées d'air et évacuations d'air naturelles) non complet est considéré dans les deux immeubles d'appartements.

	Appartements dans un bâtiment divisé en plusieurs unités de logement – AE1 Système A	Immeuble d'appartements type « Etrimmo » – AE2 Système A
Ventilation à la demande	NON	NON
Ventilateur sert au chauffage de l'air	NON	NON
Qualité d'exécution	Par défaut	Par défaut

Tableau 43 - Caractéristiques des systèmes de ventilation des immeubles d'appartements existants AE1 et AE2

2.5.7 CHAUFFAGE

Pour rappel, les deux immeubles d'appartements ont une installation de chauffage alimentée au gaz naturel. Les caractéristiques de ce système sont décrites dans le tableau ci-dessous.

	Appartements dans un bâtiment divisé en plusieurs unités de logement – AE1 & Immeuble d'appartements type « Etrimmo » – AE2 CNC gaz
rendement à 30% de charge	82%
Hors du volume protégé	oui
T° de retour à 30% de charge	
chaudière maintenue en t°	oui
valeur par défaut pour la T° de retour	
veilleuse	oui
ventilateur	non
régulation électronique	non
Système de stockage	absent

Auxiliaire circulateur	Par unité avec régulation
Distribution	Calcul simplifié + conduites hors Volume Protégé
émission	Calcul simplifié
Emetteurs devant vitrage	Non
Régulation T° ambiante local par local	Oui
T° eau/air départ constante	Oui

Tableau 44 - Caractéristiques des systèmes de chauffage des immeubles d'appartements existants AE1 et AE2

2.5.8 EAU CHAUDE SANITAIRE

Les deux chaudières non à condensation au gaz naturel produisent respectivement l'eau chaude sanitaire des deux immeubles d'appartements AE1 et AE2. Elles alimentent l'évier de la cuisine et la baignoire/douche. Le tableau ci-dessous reprend les caractéristiques des deux installations.

Appartements dans un bâtiment divisé en plusieurs unités de logement – AE1 & Immeuble d'appartements type « Etrimmo » – AE2	
système	Appareil à combustion au gaz
Présence ballon de stockage	non
veilleuse	oui
Boucle de circulation	Non
Points de puisage	Un évier + un bain
Longueur des conduites	Par défaut (AE1) – 5 m et 9 m (AE2)

Tableau 45 - Caractéristiques des systèmes d'ECS des immeubles d'appartements existants AE1 et AE2

3. BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS NEUFS

L'ensemble des mesures / groupes / variantes étudié pour les bâtiments résidentiels neufs est construit à partir de modifications des performances de tous les éléments intervenant dans l'évaluation du niveau de performance énergétique « Ew » puisque les exigences actuelles portent sur cette grandeur (ainsi que le Espec et l'indicateur de surchauffe). Nous avons donc modifié les parois opaques, les fenêtres, le plancher, la toiture, l'étanchéité mais également les systèmes de ventilation, de chauffage, la production d'ECS, et le placement de panneaux solaires thermiques et/ou photovoltaïques. Enfin, nous avons également considéré différents vecteurs énergétiques.

3.1. LISTE DES GROUPES DE MESURES ENVISAGÉS

Le bâtiment neuf de départ respecte les exigences actuelles en matière de performance énergétique : son niveau Ew est inférieur ou égal à 80 et la consommation spécifique Espec est inférieure à 130 kWh/m².an. Toutes les parois du bâtiment, ainsi que ses fenêtres, respectent les valeurs U_{max} en vigueur.

Les autres options envisagées sont les suivantes :

- meilleure isolation de toutes les parois et meilleur vitrage en vue d'obtenir les primes pour un meilleur niveau Ew (inférieur à Ew 65) ;
- idem point précédent + système de ventilation plus performant ;
- scénario « passif » (tous les critères sauf fenêtre et étanchéité pour être cohérent avec l'approche ZEB) ;
- idem scénario passif + modification système de chauffage et/ou vecteur énergétique ;
- idem scénario passif + installation de panneaux solaires thermiques et/ou photovoltaïques ;
- effet du système de chauffage sur la situation de base et les situations d'isolation intermédiaires ;
- utilisation de panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques avec les situations d'isolation intermédiaires.

3.2. LES MESURES ENVISAGÉES

Les caractéristiques thermiques des parois sont identiques à celles de la rénovation des bâtiments résidentiels existants, à savoir, selon le niveau d'isolation choisi :

	U2012		U2014		U3		U _{passif}	
PAROIS OPAQUES								
façades	0,32		0,24		0,2		0,15	
mitoyen	1		1		1		0,8	
sol	0,35		0,3		0,24		0,15	
toiture	0,27		0,24		0,2		0,15	
PAROIS TRANSLUCIDES								
	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g
fenêtres	2,2	1,3	1,8	1,1	1,4	0,8	0,8	0,5
	g=0,63		g=0,50		g=0,38		g=0,50	
porte	2,2		2		1,5		0,8	

Tableau 46 - Caractéristiques thermiques des parois (U en W/m²K) pour les bâtiments résidentiels neufs (ME et AE)

3.2.1 SYSTÈMES ENVISAGÉS POUR LES HABITATIONS NEUVES (MN1 ET MN2)

En plus des caractéristiques thermiques des parois, nous allons évaluer le coût des différents systèmes présents dans une habitation, à savoir :

- L'étanchéité:
 - o l'étanchéité de base est fixée à un v50 de $4\text{m}^3/\text{h.m}^2$;
 - o la situation améliorée correspond à un v50 de $2\text{m}^3/\text{h.m}^2$.
- Le système de ventilation
 - o la situation initiale correspond à un système C ;
 - o première alternative avec un système C+ ;
 - o deuxième alternative avec un système D avec récupération de chaleur.
- Système de chauffage
 - o initialement chaudière non à condensation ;
 - o première alternative avec une chaudière à condensation ;
 - o deuxième alternative avec une PAC ;
 - o troisième alternative avec un poêle à pellets.
- Production d'ECS
 - o couplée à la chaudière ;
 - o une autre possibilité est d'utiliser un boiler électrique ;
 - o ou production instantanée via un chauffe-eau au gaz.
- Panneaux solaires thermiques :
 - o la situation de base n'en comporte pas ;
 - o alternative : installation de 4 ou 6m^2 de panneaux solaires thermiques.
- Panneaux solaires photovoltaïques :
 - o absents dans la situation de base ;
 - o alternative : installation de panneaux photovoltaïques.
- Vecteur énergétique:
 - o mazout ;
 - o gaz naturel ;
 - o électricité ;
 - o biomasse (pellets).

3.2.2 SYSTÈMES ENVISAGÉS POUR L'IMMEUBLE D'APPARTEMENTS NEUF (AN)

Les coûts des différents systèmes présents dans les immeubles d'appartements évalués sont les suivants :

- L'étanchéité:
 - o l'étanchéité de base est fixée à un v50 de $4\text{m}^3/\text{h.m}^2$;
 - o la situation améliorée correspond à un v50 de $2\text{m}^3/\text{h.m}^2$.
- Le système de ventilation
 - o la situation initiale correspond à un système C ;
 - o première alternative avec un système C+ ;
 - o deuxième alternative avec un système D avec récupération de chaleur.
- Système de chauffage (partagé)
 - o initialement chaudière non à condensation ;
 - o première alternative avec une chaudière à condensation ;
 - o deuxième alternative avec une PAC.
- Production d'ECS
 - o couplée à la chaudière ;

- une autre possibilité est d'utiliser un boiler électrique (individuel) ;
 - ou production instantanée via un chauffe-eau au gaz (individuel).
- Panneaux solaires thermiques :
 - la situation de base n'en comporte pas ;
 - alternative : installation de 4 ou 6m² de panneaux solaires thermiques par appartement.
- Panneaux solaires photovoltaïques :
 - absents dans la situation de base ;
 - alternative : installation de panneaux photovoltaïques.
- Vecteur énergétique:
 - mazout ;
 - gaz naturel ;
 - électricité ;
 - biomasse (pellets).

3.3 LISTE DES VARIANTES

3.3.1 MAISONS UNIFAMILIALES NEUVES (MN1 ET MN2)

Comme pour les bâtiments existants, deux habitations seront étudiées. Nous travaillerons avec deux habitations présentant une inertie différente :

- une nouvelle construction (MN1) en type constructif traditionnel, villa 4 façades, inertie mi-lourd ;
- une nouvelle construction en type constructif ossature bois (MN2), mitoyenne, inertie léger.

Tableau des variantes envisagées pour habitations neuves:

Cas	Groupes de mesures / variantes										
	F	Utoit	Umur	Usol	Etanch	Ventil	Chauf	SolTh	SolPV	ECS	VE
0	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	CC	-	-	C	M
1	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	CC	-	-	C	GN
2	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	PAC	-	-	E	E
3	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	CNC	-	-	C	B
4	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	CC	-	-	C	M
5	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	CC	-	-	C	GN
6	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	PAC	-	-	E	E
7	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	CNC	-	-	C	B
8	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C+	CC	-	-	C	M
9	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	D réc	CC	-	-	C	M
10	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	D réc	CC	-	-	C	GN
11	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	D réc	CNC	-	-	C	M
12	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	D réc	CNC	solTh1	-	C	M
13	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	D réc	CNC	-	PV1	C	M
14	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	D réc	CNC	solTh1	PV1	C	M
15	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E4	C	CC	-	-	C	M
16	F 3	Utoit3	Umur 3	Usol 3	E4	C	CC	-	-	C	GN
17	F 3	Utoit3	Umur 3	Usol 3	E4	C	PAC	-	-	E	E
18	F 3	Utoit3	Umur 3	Usol 3	E4	C	CNC	-	-	C	B
19	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E4	C+	CC	-	-	C	M
20	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	D réc	CC	-	-	C	M
21	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	D réc	CC	-	-	C	GN
22	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	D réc	CNC	-	-	C	M
23	F 3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	D réc	CNC	solTh1	-	C	M
24	F 3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	D réc	CNC	-	PV1	C	M
25	F 3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	D réc	CNC	solTh1	PV1	C	M
26	F3	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	D réc	CC	-	-	C	M
27	F3	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	D réc	CC	-	-	C	GN
28	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	D réc	PAC	-	-	E	E
29	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	D réc	E	-	-	E	E

30	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	D réc	Poêle	-	-	G	B
31	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	D réc	E	-	PV1	E	E
32	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	D réc	Poêle	solTh1	-	E	B
33	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	D réc	Poêle	solTh2	-	E	B
34	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	D réc	Poêle	-	PV1	E	B
35	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	D réc	Poêle	-	PV2	E	B
36	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	D réc	Poêle	soTh1	PV1	E	B

Tableau 47 - Ensemble des variantes étudiées pour les habitations résidentielles neuves (MN1 et MN2)

3.3.2 IMMEUBLE D'APPARTEMENTS NEUF (AN)

Les groupes de mesures/variantes envisagées sont donnés dans le tableau ci-après :

CAS	Groupes de mesures / variantes										
	F	Utoit	Umur	Usol	Etanch	Ventil	Chauf	SolTh	SolPV	ECS	VE
0	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	CNC P	-	-	C P	M
1	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	CC P	-	-	C P	M
2	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	CC P	-	-	E I	M
3	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	CC P	-	-	C P	M
4	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C+	CC P	-	-	C P	M
5	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	CC P	Solth1 P	-	C P	M
6	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	CC P	-	PV1	C P	M
7	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C+	CC P	Solth1 P	-	C P	M
8	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C+	CC P	-	PV1	C P	M
9	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	C+	CC P	-	-	CP	M
10	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	CC P	-	-	CP	M
11	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	CC P	Solth1 P	-	CP	M
12	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	CC P	-	PV1	CP	M
13	F3	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	C+	CC P	-	-	C P	M
14	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	C+	CC P	-	-	C P	M
15	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC P	-	-	C P	M
16	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC P	Solth1 P	-	C P	M
17	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC P	Solth2 P	-	C P	M
18	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC P	-	PV1	C P	M
19	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC P	-	PV2	C P	M
20	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC P	Solth1 P	PV1	C P	M
21	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	CC P	-	-	C P	GN
22	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C+	CC I	-	-	C I	GN
23	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	CC I	Solth1 I	-	C I	GN
24	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	CC I	-	PV1	C I	GN
25	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C+	CC I	Solth1 I	-	C I	GN
26	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C+	CC I	-	PV1	C I	GN
27	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	C+	CC I	-	-	C I	GN
28	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	CC I	-	-	C I	GN
29	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	CC I	Solth1 I	-	C I	GN
30	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	CC I	-	PV1	C I	GN
31	F3	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC I	-	-	C I	GN
32	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC I	-	-	C I	GN
33	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC I	Solth1 I	-	C I	GN
34	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC I	-	PV1	C I	GN
35	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC I	-	PV2	C I	GN

36	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC I	Solth1 I	PV1	C I	GN
37	F2012	T2012	M2012	S2012	E4	C	CNC P	-	-	C P	B
38	F2012	T2012	M2012	S2012	E4	C	CNC P	-	-	E I	B
39	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C+	CNC P	-	-	C P	B
40	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	C+	CNC P	-	-	C P	B
41	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	C+	CNC P	Solth1 P	-	C P	B
42	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CNC P	Solth1 P	-	C P	B
43	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CNC P	-	PV1	C P	B
44	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	E	-	-	E	E
45	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	E	Solth1 I	-	E	E
46	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	E	-	PV1	E	E
47	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	E	Solth1 I	PV1	E	E
48	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	E	-	-	E	E
49	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	E	Solth1 I	-	E	E
50	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	E	-	PV1	E	E
51	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	E	Solth1 I	PV1	E	E
52	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	E	-	PV2	E	E
53	F3	T3	M3	S3	E2	Dr	PAC S/E	-	-	C P	E
54	F3	T3	M3	S3	E2	Dr	PAC S/E	-	PV1	E	E
55	Fpass	Tpass	Mpass	Spass	E2	Dr	PAC S/E	-	-	E	E
56	Fpass	Tpass	Mpass	Spass	E2	Dr	PAC S/E	-	PV1	E	E
57	Fpass	Tpass	Mpass	Spass	E2	Dr	PAC S/E	-	PV1	C P	E
58	F3	T3	M3	S3	E2	Dr	PAC I A/E	-	-	C	E
59	F3	T3	M3	S3	E2	Dr	PAC I A/E	-	PV1	E	E
60	Fpass	Tpass	Mpass	Spass	E2	Dr	PAC I A/E	-	-	E	E
61	Fpass	Tpass	Mpass	Spass	E2	Dr	PAC I A/E	-	PV1	E	E
62	Fpass	Tpass	Mpass	Spass	E2	Dr	PAC I A/E	-	PV1	C	E
63	F3	T3	M3	S3	E2	Dr	PAC I A/A	-	-	C	E
64	F3	T3	M3	S3	E2	Dr	PAC I A/A	-	PV1	E	E
65	Fpass	Tpass	Mpass	Spass	E2	Dr	PAC I A/A	-	-	E	E
66	Fpass	Tpass	Mpass	Spass	E2	Dr	PAC I A/A	-	PV1	E	E
67	Fpass	Tpass	Mpass	Spass	E2	Dr	PAC I A/A	-	PV1	C	E

Tableau 48 - Ensemble des variantes étudiées pour l'immeuble d'appartements AN

3.4 HYPOTHÈSES DE SIMULATION PEB ET CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES DES HABITATIONS NEUVES

3.4.1 NŒUDS CONSTRUCTIFS

Dans cette étude, nous supposons que tous les nœuds constructifs sont réalisés suivant la méthode « PEB conforme ». En effet, il serait trop laborieux d'étudier dans chaque cas d'isolation, les nœuds constructifs présents pour l'habitation étudiée.

Ce choix implique une pénalité de 3 points au niveau du K, pour l'ensemble des simulations. Le choix forfaitaire, impliquant une pénalisation de 10 points supplémentaires, aurait créé un impact significatif sur les résultats, et cela aurait été trop défavorable par rapport à la réalité.

3.4.2 ETANCHÉITÉ À L'AIR

Pour les bâtiments neufs, le débit de fuite par unité de surface est :

- De $4\text{m}^3/\text{h.m}^2$, par défaut, valeur très facilement obtenue dans le cas de constructions neuves (notée E4)
- De $2\text{m}^3/\text{h.m}^2$, dans une vision plus optimiste, valeur obtenue dans le cas d'une attention modérée lors de constructions neuves (notée E2).

3.4.3 INERTIE

Nous travaillerons avec 2 inerties différentes :

- une nouvelle construction en traditionnel (villa 4 façades – MN1) de type mi-lourd ;
- une nouvelle construction en structure bois (mitoyenne – MN2) de type léger.

3.4.4 OMBRAGE

Comme pour les habitations existantes, l'ombrage des fenêtres est laissé par défaut dans le logiciel PEB.

Pour les panneaux photovoltaïques et les panneaux solaires thermiques, aucun ombrage n'est considéré. Nous avons pris cette hypothèse afin de ne pas favoriser une technologie par rapport à l'autre. En effet, dans le logiciel PEB il n'est pas possible d'introduire les valeurs par défaut pour les panneaux photovoltaïques, mais bien pour le solaire thermique. Donc nous introduisons comme valeur pour tous les angles = 0° (obstruction et saillie), pour tous les panneaux.

3.4.5 PROTECTIONS SOLAIRES

Dans un premier temps, aucune protection solaire ne sera considérée. Si on observe une surchauffe trop pénalisante, le type de protection à placer sera défini. Pour les habitations unifamiliales, aucune protection solaire n'a dû être mise en place car aucune surchauffe n'est apparue.

3.4.6 VENTILATION

Selon le type de système de ventilation placé dans une nouvelle habitation, les caractéristiques diffèrent et sont reprises ci-dessous :

	Système C	Système C+	Système D réc
Ventilation à la demande	NON	OUI	NON
Ventilateur sert au chauffage de l'air	NON	NON	NON
Ventilation volontaire	OUI	OUI	OUI
méthode de calcul	PAR DEFAUT	PAR DEFAUT	PAR DEFAUT
type de courant du ventilateur	ALTERNATIF	CONTINU	CONTINU
utilisation de l'air pour une PAC	NON	NON	NON
facteur de réduction	NON	0.6	
Qualité d'exécution	Par défaut	Par défaut	Par défaut
Récupérateur de chaleur			OUI
by-pass			OUI
passage à travers l'échangeur interrompu			OUI
rendement thermique			85%
Alimentation mécanique			OUI
mesure continue du débit entrant			NON
valeur du débit insufflé connu			OUI
débit insufflé			« somme de tous les débits insufflés, locaux secs »
Evacuation mécanique			OUI
mesure continue du débit sortant			NON
valeur du débit rejeté connu			OUI
débit rejeté			« somme de tous les débits rejetés, locaux humides »

Tableau 49 - Caractéristiques des systèmes de ventilation des habitations résidentielles neuves (MN1 et MN2)

3.4.7 CHAUFFAGE

Chaque système de chauffage installé a ses propres caractéristiques de production mais également de distribution et d'émission de chaleur. Les valeurs choisies et introduites dans le logiciel PEB sont celles reprises dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs correspondent à des systèmes récents et assez performants.

	CNC mazout	CC gaz	CC mazout	CNC biomasse
rendement à 30% de charge	90%	107%	101%	92%
Hors du volume protégé	Oui	non	non	Oui
T° de retour à 30% de charge		30°C	30°C	
chaudière maintenue en t°	Non	non	non	
valeur par défaut pour la T° de retour		oui	oui	
veilleuse		non		
ventilateur	oui	oui	oui	oui
régulation électronique	oui	oui	oui	oui
Système de stockage	absent	absent	absent	absent
Auxiliaire circulateur	Par unité avec régulation			
distribution	Calcul simplifié + conduites hors VP	Calcul simplifié + conduites dans VP	Calcul simplifié + conduites dans VP	Calcul simplifié + conduites hors VP
émission	Calcul simplifié + radiateurs			
Emetteurs devant vitrage	Non	Non	Non	Non
Régulation T° ambiante local par local	Oui	Oui	Oui	Oui
T° eau/air départ constante	Non	Non	Non	Non

Tableau 50 - Caractéristiques des systèmes de chauffage central des habitations résidentielles neuves (MN1 et MN2)

Nous étudions aussi des variantes avec pompe à chaleur. Nous avons considéré que pour la maison 4 façades (MN1) qui possède une grande surface de jardin, c'est une PAC sol – eau qui est mise en place. La PAC sol-eau considérée a un échangeur horizontal dans le jardin. Un échangeur vertical est moins souvent rencontré car il nécessite un permis d'environnement. Tandis que pour la maison 2 façades (MN2), sans grand jardin, c'est une PAC air – eau qui est utilisée.

	PAC sol – eau	PAC air – eau	PAC air-air
COP test	4,3	3,1	3,2
T° départ de l'eau	40°C	40°C	
Facteur de correction - augmentation de la T° au condenseur	Conditions test connues	Conditions test connues	
Différence de T° entre le départ et le retour	10°C	10°C	
Augmentation de la T° au condenseur	5°C	5°C	
Pompe pour apporter la chaleur à l'évaporateur	Oui puissance inconnue		
Emission	par sol, mur, plafond	par sol, mur, plafond	Radiateurs, convecteurs
Emetteurs de chaleur installés devant un vitrage	NON	NON	NON
Régulation T° ambiante local par local	NON	NON	OUI
T° eau/air départ constante	NON	NON	NON
FPS	3,88	3,35	3,2

Tableau 51: caractéristiques des systèmes de pompe à chaleur des habitations résidentielles neuves (MN1 et MN2)

En plus des systèmes de chauffage central, il est parfois rencontré dans les variantes, des systèmes de chauffage local. Deux systèmes sont considérés lorsqu'une isolation très performante est mise en place, c'est-à-dire pour Upassif :

- le poêle au bois ;
- le chauffage électrique, radiateurs ou convecteurs avec régulation électronique (sans accumulation).

3.4.8 EAU CHAUDE SANITAIRE

Les caractéristiques des producteurs d'eau chaude sanitaire sont les suivantes :

	Appareil à combustion au mazout	Appareil à combustion au gaz	Appareil à combustion au bois	Boiler électrique
Présence ballon de stockage	OUI	NON	OUI	OUI
Boucle de circulation	NON	NON	NON	NON

Tableau 52 - Caractéristiques des systèmes d'ECS des habitations résidentielles neuves (MN1 et MN2)

Les longueurs de conduites des points de puisage sont à encoder pour chaque cas car si ces longueurs sont inconnues, les performances se dégradent fortement. Il sera donc nécessaire de préciser où est placé le producteur d'ECS afin de déterminer la longueur des conduites vers chaque point de puisage (exemple : chaudière couplée ECS dans le local technique, chauffe-eau instantané dans la salle de bain, boiler électrique dans le local technique)

De plus, s'il y a présence de panneaux thermiques, il faut également prévoir un ballon de stockage pour l'ECS, si l'habitation n'en possède pas déjà un.

3.4.9 PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

Dans les conditions belges de climat et d'ensoleillement, $1Wc=0,85kWh/an$.

Dans un premier cas, considérons que les panneaux vont produire la consommation moyenne d'un ménage moyen de 4 personnes, c'est-à-dire $3500kWh/an$ et donc $4117Wc$ (source : bilan énergétique wallon). Cela représente 17 panneaux de $245Wc$. Un panneau mesure $1,6m \times 1m$, donc une surface totale de $27,2m^2$.

Dans le deuxième cas, considérons que les panneaux vont produire plus que la consommation moyenne d'un ménage moyen, environ $5500kWh/an$ et donc $6470Wc$. Cela représente 26 panneaux de $245Wc$. Un panneau mesure $1,6m \times 1m$, donc une surface totale de $41,6m^2$ (surface limitée par la surface de la toiture de la maison ossature bois mitoyenne qui est, pour le versant OSO de $42m^2$).

3.4.10 PANNEAUX SOLAIRES THERMIQUES

Dans le premier cas (SolTh1), $4m^2$ de panneaux sont placés. Cette surface est la surface optique nécessaire pour obtenir la prime ($4m^2$ de panneaux correspondent à une moyenne du bilan énergétique wallon).

Dans le second cas (SolTh2), $6m^2$ de panneaux sont placés permettant de couvrir les besoins en ECS d'un ménage moyen.

3.5 HYPOTHÈSES DE SIMULATION PEB ET CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES DE L'IMMEUBLE D'APPARTEMENTS NEUF

3.5.1 NŒUDS CONSTRUCTIFS

A l'identique des maisons unifamiliales neuves, les nœuds constructifs pour l'immeuble d'appartements neuf sont considérés comme PEB conformes. Le niveau K est donc augmenté de 3 points. Cette solution est intermédiaire car elle se situe entre la méthode détaillée (favorable) et la méthode forfaitaire qui ajoute 10 points au niveau K (défavorable).

3.5.2 ETANCHÉITÉ À L'AIR

Nous avons considéré deux valeurs de débit de fuite par unité de surface, à savoir :

- De $4m^3/h.m^2$, valeur mentionnée par E4 ;
- De $2m^3/h.m^2$, valeur mentionnée par E2.

3.5.3 INERTIE

L'immeuble d'appartements (AN) est une construction traditionnelle (murs en bloc de béton). L'inertie est de type mi-lourd.

3.5.4 OMBRAGE

Les valeurs pour l'ombrage des fenêtres sont les valeurs par défaut utilisées dans le logiciel PEB.

Pour les panneaux photovoltaïques et les panneaux solaires thermiques, aucun ombrage n'est considéré, et ce pour les mêmes raisons que les habitations neuves (MN1 et MN2).

3.5.5 PROTECTIONS SOLAIRES

Aucune protection solaire intérieure ou extérieure n'est placée sauf si le risque de surchauffe est trop élevé. Aucune surchauffe étant observée, des protections solaires ne sont donc pas mises en place.

3.5.6 VENTILATION

Les caractéristiques des différents systèmes de ventilation installés dans l'immeuble sont détaillées dans le tableau suivant :

	Système C	Système C+	Système D réc
Ventilation à la demande	NON	OUI	NON
Ventilateur sert au chauffage de l'air	NON	NON	NON
Ventilation volontaire	OUI	OUI	OUI
méthode de calcul	PAR DEFAUT	PAR DEFAUT	PAR DEFAUT
type de courant du ventilateur	ALTERNATIF	CONTINU	CONTINU
utilisation de l'air pour une PAC	NON	NON	NON
ventilateur sert au chauffage de l'air	NON	NON	NON
facteur de réduction	NON	0.6	
Qualité d'exécution	Par défaut	Par défaut	Par défaut
Récupérateur de chaleur			OUI
by-pass			OUI
passage à travers l'échangeur interrompu			OUI
rendement thermique			85%
Alimentation			OUI

mécanique		
mesure continue du débit entrant		NON
valeur du débit insufflé connu		OUI
débit insufflé		« somme de tous les débits insufflés, locaux secs »
Evacuation mécanique		OUI
mesure continue du débit sortant		NON
valeur du débit rejeté connu		OUI
débit rejeté		« somme de tous les débits rejetés, locaux humides »

Tableau 53 - Caractéristiques des systèmes de ventilation de l'immeuble d'appartements neuf (AN)

3.5.7 CHAUFFAGE

Différents systèmes de chauffage central (partagé et/ou individuel) sont étudiés dans les groupes de mesures/variantes dont les caractéristiques des appareils de production, de distribution et d'émission sont précisées ci-dessous.

	CNC mazout	CC gaz	CC mazout	CNC biomasse
rendement à 30% de charge	90%	107%	101%	92%
Hors du volume protégé	Oui	non	non	Oui
T° de retour à 30% de charge		30°C	30°C	
chaudière maintenue en t°	Non	non	non	
valeur par défaut pour la T° de retour		oui	oui	
veilleuse		non		
ventilateur	oui	oui	oui	oui
régulation électronique	oui	oui	oui	oui
Système de stockage	absent	absent	absent	absent
Auxiliaire circulateur	Par unité avec régulation			
distribution	Calcul simplifié + conduites hors VP			

	hors VP	dans VP	dans VP	dans VP
émission	Calcul simplifié + radiateurs			
Emetteurs devant vitrage	Non	Non	Non	Non
Régulation T° ambiante local par local	Oui	Oui	Oui	Oui
T° eau/air départ constante	Non	Non	Non	Non

Tableau 54 - Caractéristiques des systèmes de chauffage central de l'immeuble d'appartements neuf (AN)

Deux systèmes de pompes à chaleur individuelles sont envisagés : la PAC air-eau et la PAC air-air. La PAC géothermique partagée est également étudiée.

	PAC sol – eau	PAC air – eau	PAC air-air
COP test	4,3	3,1	3,2
T° départ de l'eau	40°C	40°C	
Facteur de correction - augmentation de la T° au condenseur	Conditions test connues	Conditions test connues	
Différence de T° entre le départ et le retour	10°C	10°C	
Augmentation de la T° au condenseur	5°C	5°C	
Pompe pour apporter la chaleur à l'évaporateur	Oui à puissance inconnue		
Emission	par sol, mur, plafond	par sol, mur, plafond	Radiateurs, convecteurs
Emetteurs de chaleur installés devant un vitrage	NON	NON	NON
Régulation T° ambiante local par local	NON	NON	OUI
T° eau/air départ constante	NON	NON	NON
FPS	3,88	3,35	3,2

Tableau 55 - Caractéristiques des systèmes de pompe à chaleur de l'immeuble d'appartements neuf (AN)

Le chauffage électrique, radiateurs ou convecteurs avec régulation électronique (sans accumulation) est la dernière variante envisagée pour le chauffage (local). Il est mis en place uniquement quand les performances de l'enveloppe sont élevées, c'est-à-dire pour les parois de type U_3 et U_{pas} .

3.5.8 EAU CHAUDE SANITAIRE

Les caractéristiques des producteurs d'eau chaude sanitaire sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Il faut noter que les longueurs de conduites sont encodées et alimentent deux points de puisage, un évier et une baignoire/douche.

	Appareil à combustion au mazout	Appareil à combustion au gaz	Appareil à combustion au bois	Boiler électrique
Présence ballon de stockage	OUI	NON	OUI	OUI
Boucle de circulation	NON	NON	NON	NON

Tableau 56 - Caractéristiques des systèmes d'ECS de l'immeuble d'appartements neuf (AN)

De plus, s'il y a présence de panneaux thermiques, il faut également prévoir un ballon de stockage pour l'ECS.

3.5.9 PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

En considérant que la consommation moyenne d'un ménage moyen de 4 personnes est de 3500kWh/an, soit 4117Wc, il n'est pas possible de couvrir l'ensemble des besoins des six appartements car la surface nécessaire est supérieure à la surface d'un pan de toiture.

Dans un premier temps, nous installons des panneaux qui vont produire la moitié de la consommation totale de l'immeuble, soit :

$$3 \times 3500 = 10500 \text{ kWh/an, soit } 12351 \text{ Wc}$$

Le nombre de panneaux de 245WC mesurant 1,6m X 1m s'élève à 51 ; la surface totale est donc de 81,6 m².

Dans un second temps, les panneaux produisent 5/6 de la consommation totale de l'immeuble, soit 17500 kWh/an ce qui correspond à 20585 Wc. Cela représente 85 panneaux, c'est-à-dire une surface totale de 136 m². Cette surface est inférieure à la surface d'un pan de toiture de 140 m² environ.

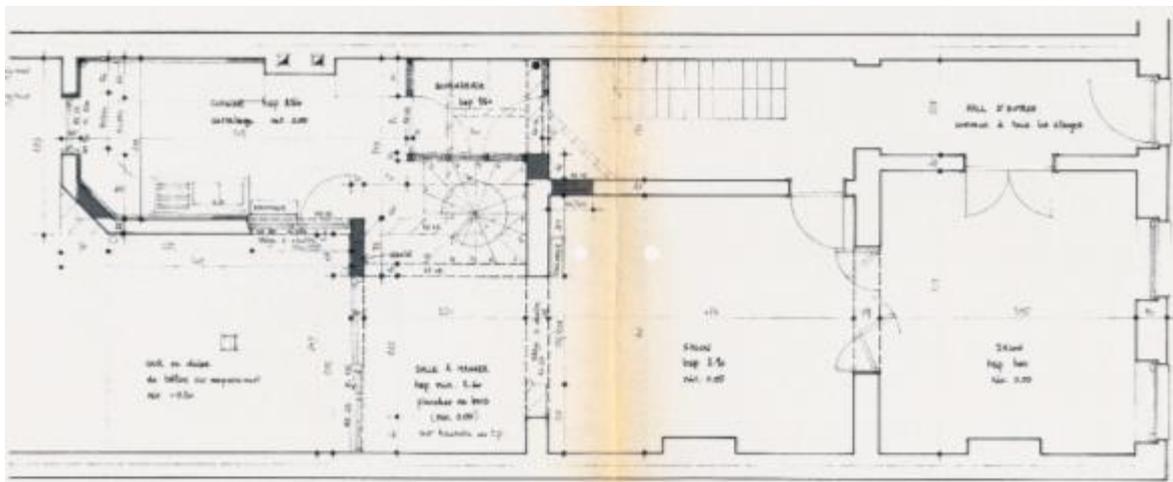
3.5.10 PANNEAUX SOLAIRES THERMIQUES

Pour des raisons similaires aux habitations neuves, la surface de panneaux solaires placés est de :

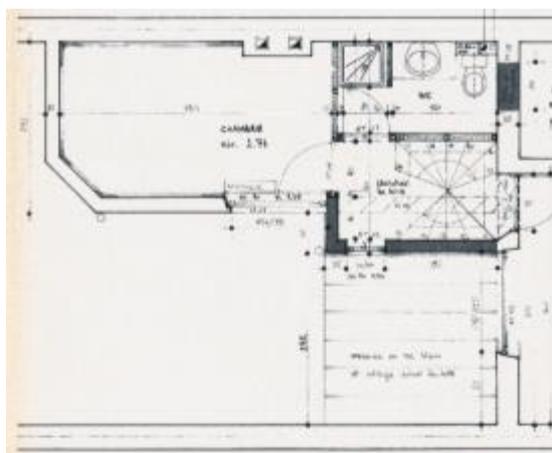
- 4 m² par appartement, soit un total de 24 m² ;
- 6 m² par appartement, soit un total de 36 m².

ANNEXES

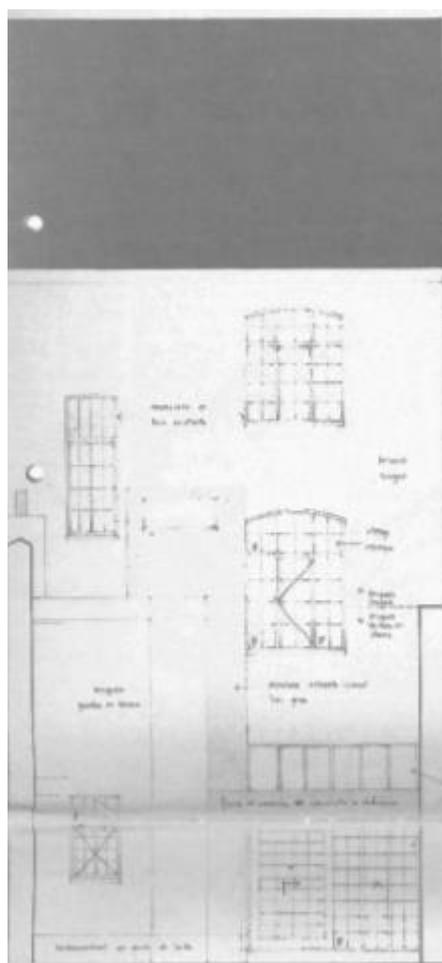
ANNEXE A : PLANS DE L'HABITATION ME1



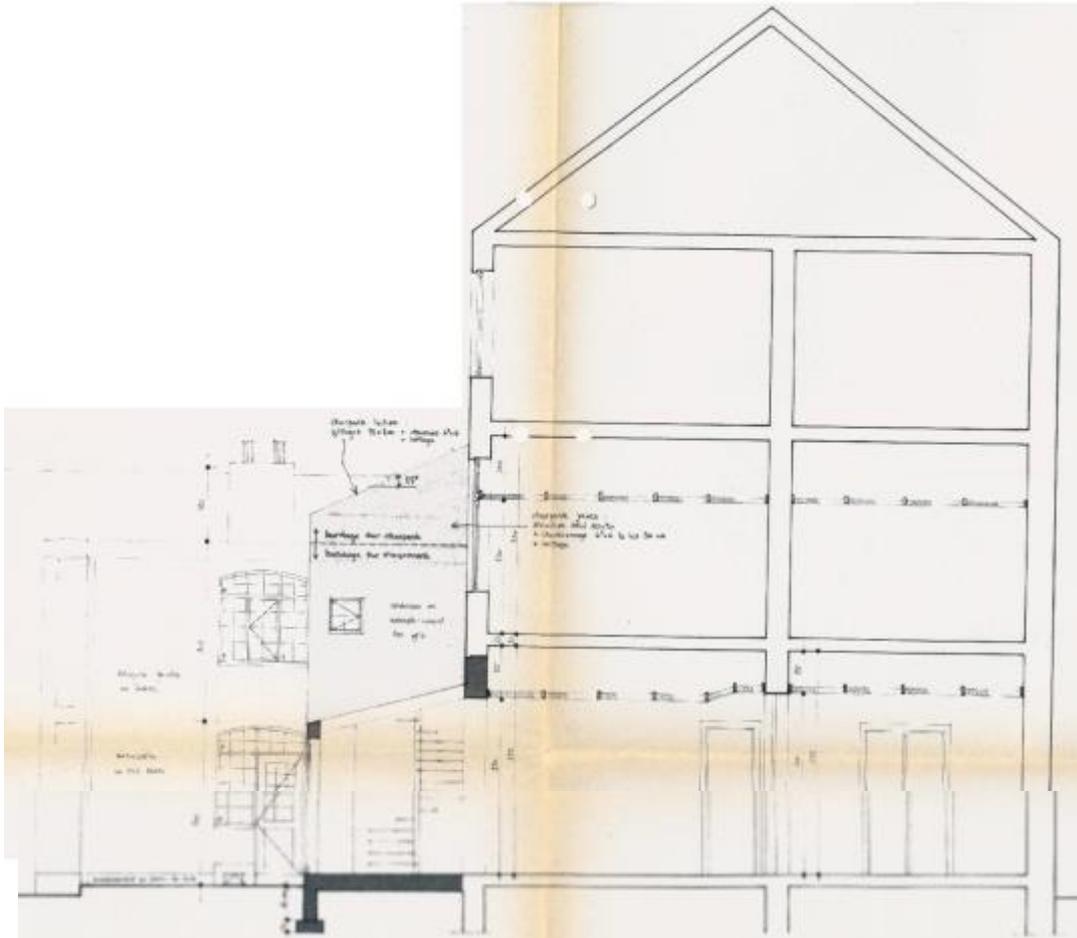
Plan du rez-de-chaussée



Plan du premier étage (partie arrière)

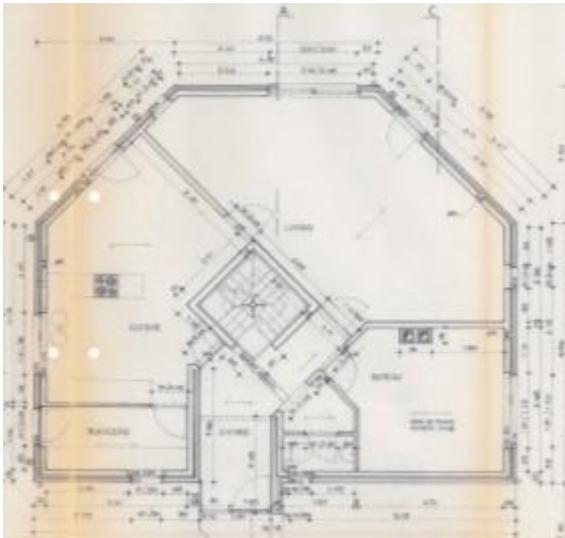


Façade Est (arrière)

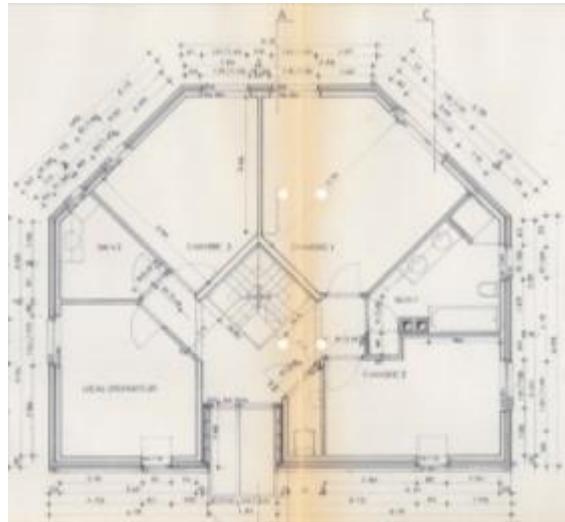


Coupe longitudinale

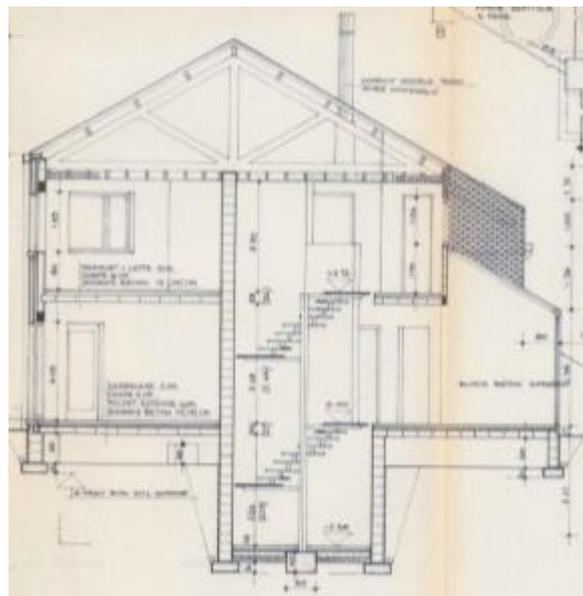
ANNEXE B : PLANS DE L'HABITATION ME2



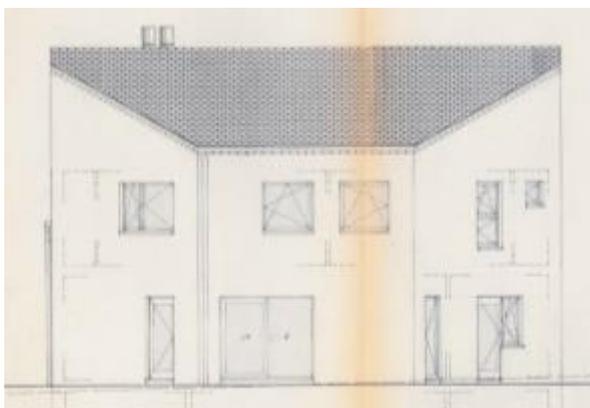
Plan du rez-de-chaussée



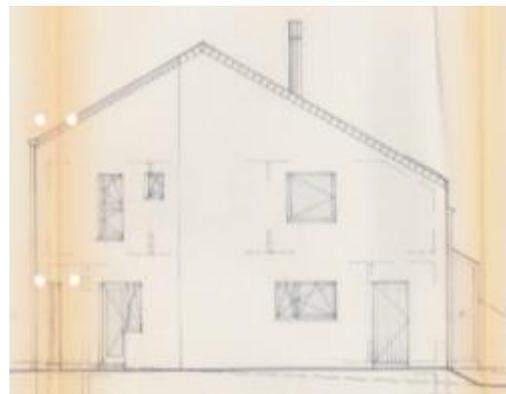
Plan du premier étage



Coupe transversale

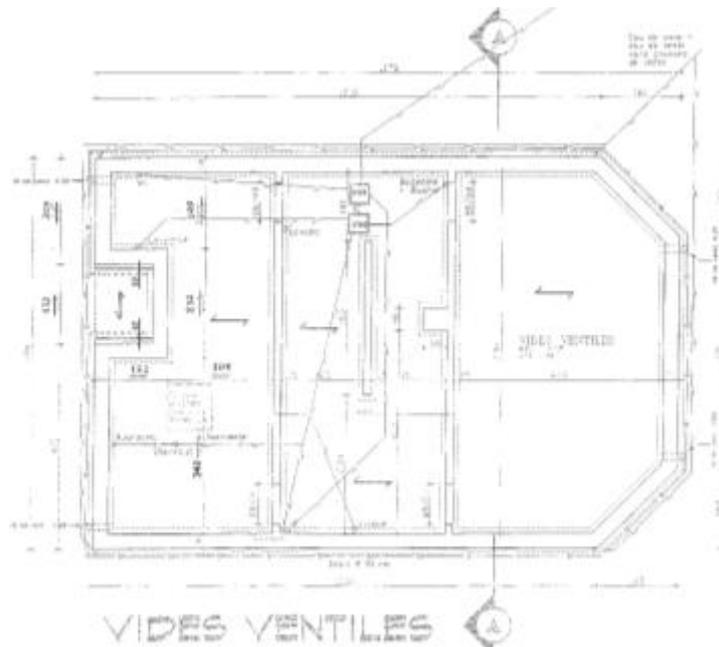


Façade Sud

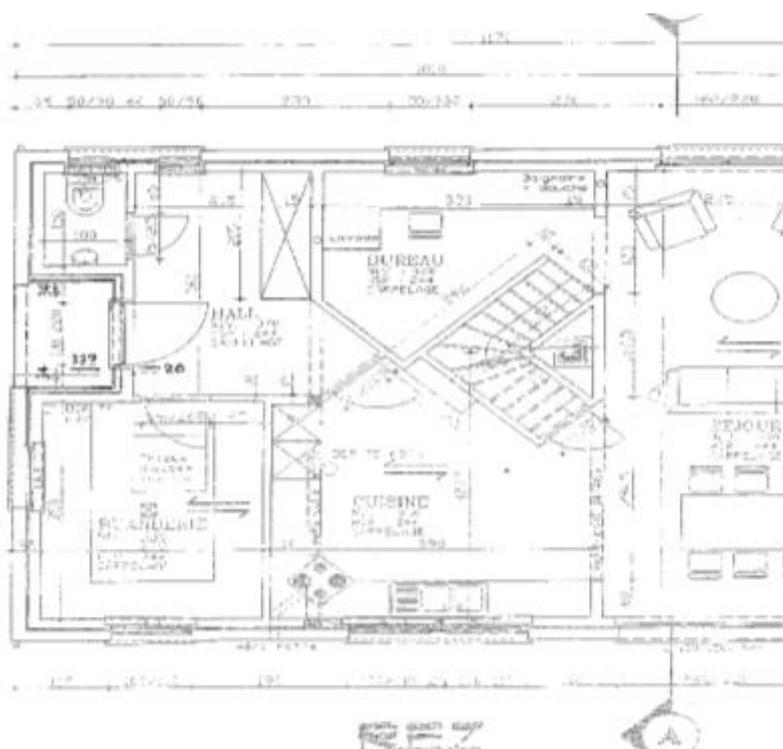


Façade Est

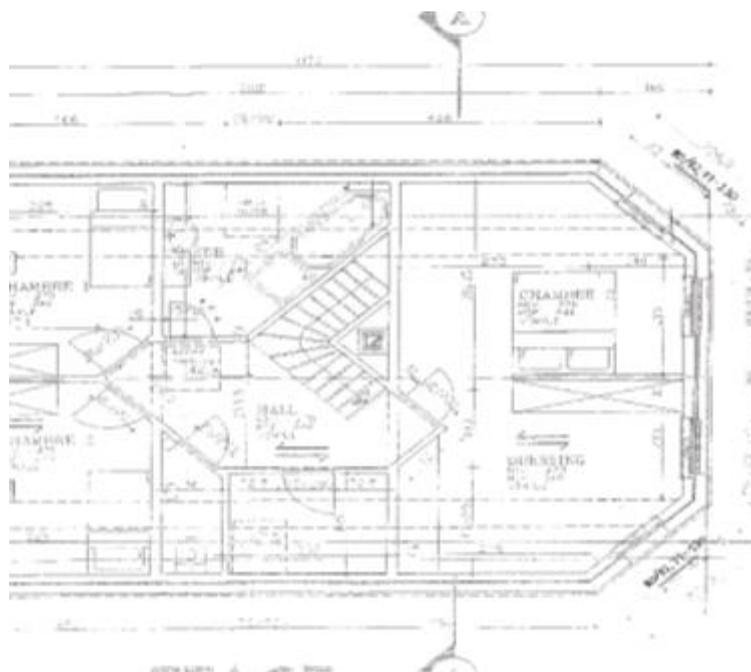
ANNEXE C : PLANS DE L'HABITATION MN1



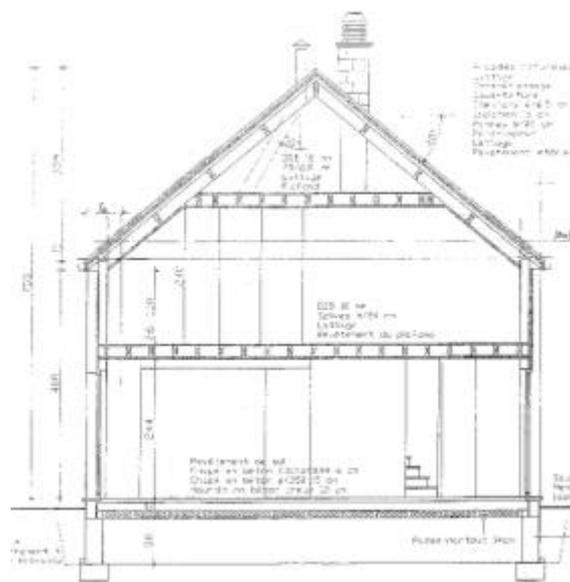
Plan du vide ventilé



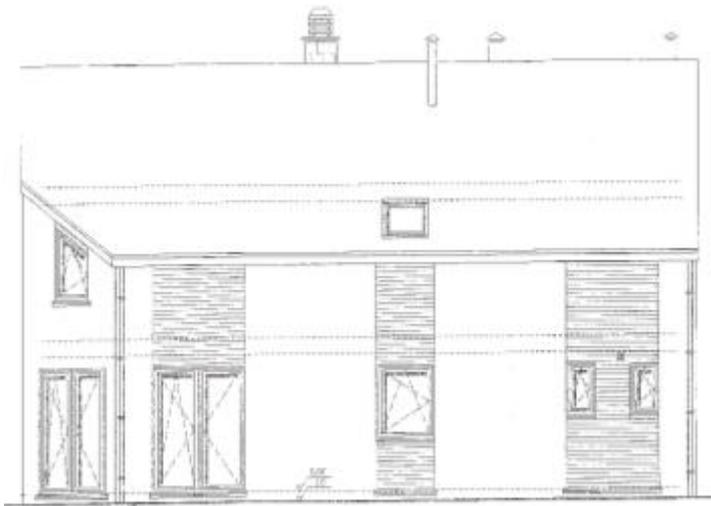
Plan du rez-de-chaussée



Plan du premier étage



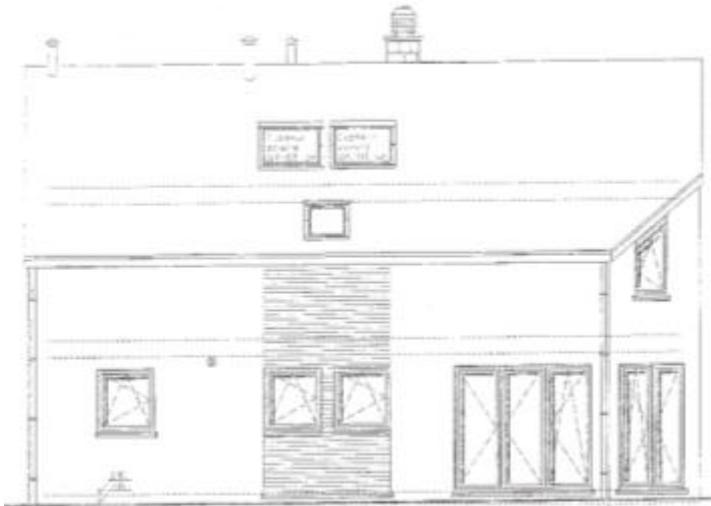
Coupe transversale



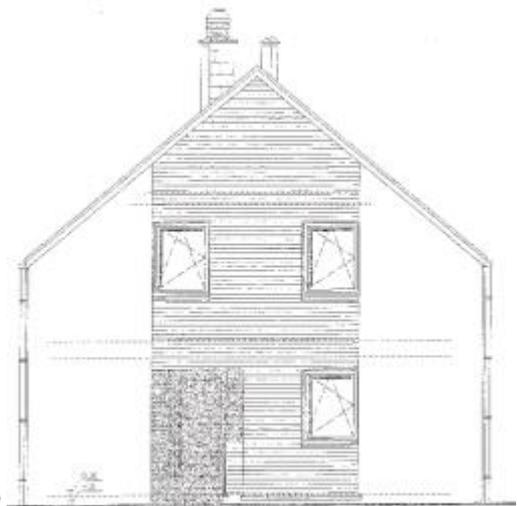
Façade nord



Façade est

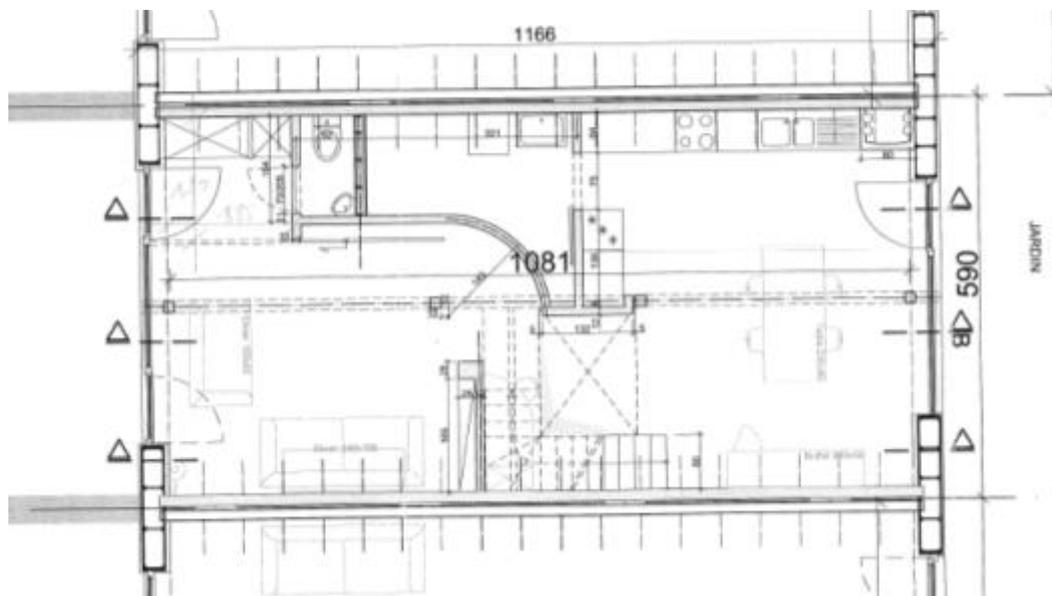


Façade sud

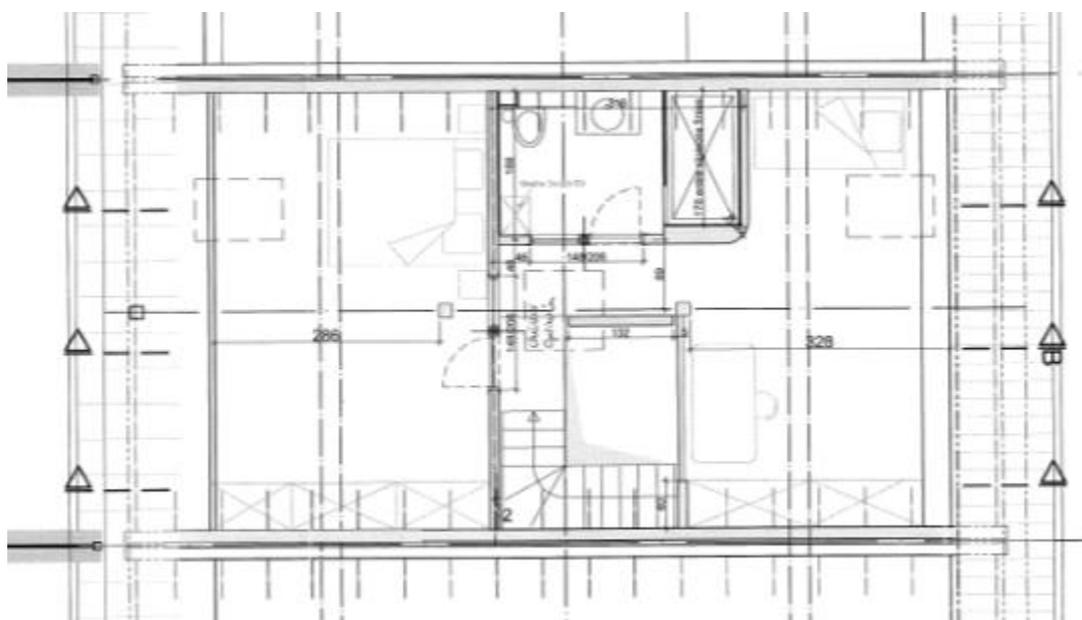


Façade ouest

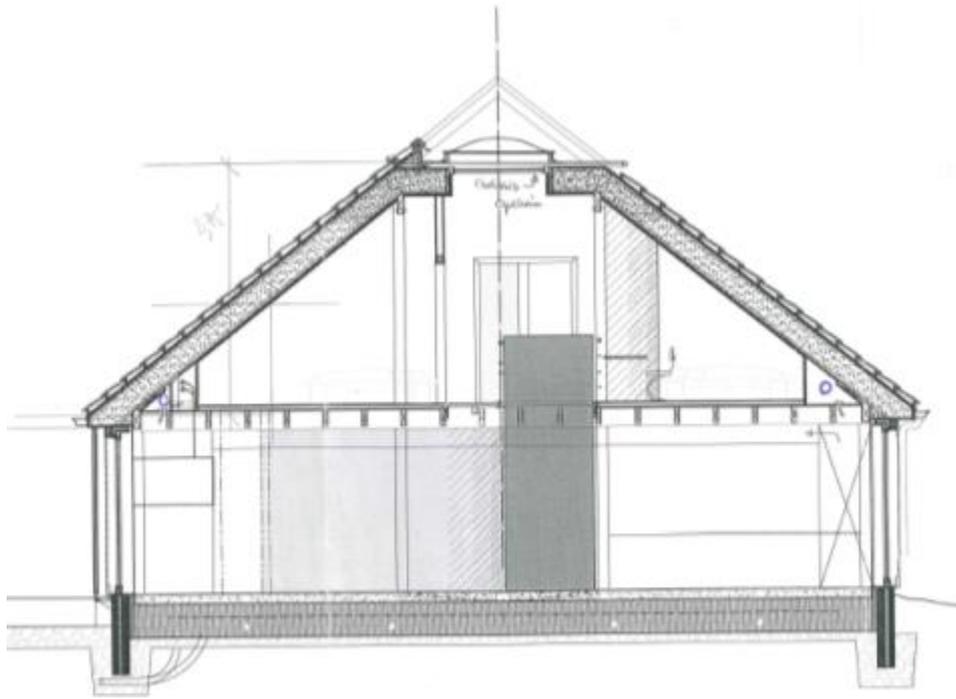
ANNEXE D : PLANS DE L'HABITATION MN2



Plan du rez-de-chaussée



Plan du premier étage



Coupe transversale

ANNEXE E : ETANCHEITE A L'AIR DES BATIMENTS EXISTANTS (ME1 ET ME2)

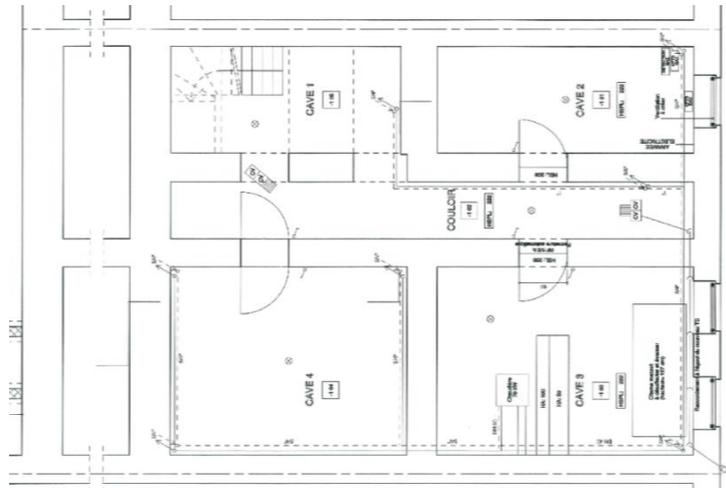
Calcul de l'amélioration de l'étanchéité à l'air			
Résidentiel unifamilial 1 - maison mitoyenne - MN1			
Bâtiment	Exemple fictif	(m ²)	
	surface dalle sol	81,04	
	surface parois opaques verticales AVANT	53,428	
	surface parois opaques verticales ARRIERE	83,14	
	surface fenêtres	56,02	
	surface toit	103,1	
	surface de déperditions totale	376,728	
	Volume (m ³)	854,15	
Etanchéité de référence		14,9 m ³ /h.m ²	
Débit total inf/exf		5613,2472 m ³ /h	
HYPOTHESE: toutes les parois opaques laissent passer l'air de la même façon, idem pour toutes les fenêtres			
Pour connaître la répartition de débit inf/exf entre fenêtres et parois opaques:			
			m ³ /h.m ² sous 50 Pa
	Situation de référence	simple vitrage	25 classe 1; valeur estimée par nos soins
		double vitrage	17 classe 2
	Valeur de fuite des fenêtres sous 50 Pa	25 m ³ /h.m ²	
		1400,5 m ³ /h	
BASE	Débit dû à la dalle de sol	1065 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert AVANT	702 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert ARRIERE	1092 m ³ /h	
	Débit dû au toit	1354 m ³ /h	
	Débit dû aux fenêtres	1400,5 m ³ /h	
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtiment	5613 m ³ /h	
1/ Remplacement fenêtres uniquement:			
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)			
	Fenêtres de classe 4	double vitrage	m ³ /h.m ² sous 50 Pa
			1,89
	Débit dû à la dalle de sol	1065 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert AVANT	702 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert ARRIERE	1092 m ³ /h	
	Débit dû au toit	1354 m ³ /h	
	Débit dû aux fenêtres	105,8778 m ³ /h	
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtiment	4319 m ³ /h	
	Etanchéité améliorée	11,46350948 m ³ /h.m ²	
1bis/ Remplacement du toit uniquement:			
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)			
Amélioration considérée		12,5 %	
	Débit dû à la dalle de sol	1065 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert AVANT	702 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert ARRIERE	1092 m ³ /h	
	Débit dû au toit	1185 m ³ /h	
	Débit dû aux fenêtres	1400,5 m ³ /h	
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtiment	5444 m ³ /h	
	Etanchéité améliorée	14,45063796 m ³ /h.m ²	

2/remplacement des fenêtres + isolation du toit pour un U2012 (ou U2014 ou U3)					
Amélioration considérée					12,5 %
	Débit dû à la dalle de sol	1065	m ³ /h		
	Débit dû aux parois opaques vert AVANT	702	m ³ /h		
	Débit dû aux parois opaques vert ARRIERE	1092	m ³ /h		
	Débit dû au toit	1185	m ³ /h		
	Débit dû aux fenêtres	106	m ³ /h		
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtiment	4149	m ³ /h		
	Etanchéité améliorée	11,01414744	m ³ /h.m ²		
3/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs pour un U2012 (ou U2014 ou U3)					
Amélioration considérée					12,5 %
	Débit dû à la dalle de sol	1065	m ³ /h		
	Débit dû aux parois opaques vert AVANT	702	m ³ /h		
	Débit dû aux parois opaques vert ARRIERE	956	m ³ /h		
	Débit dû au toit	1185	m ³ /h		
	Débit dû aux fenêtres	106	m ³ /h		
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtiment	4013	m ³ /h		
	Etanchéité améliorée	10,65178119	m ³ /h.m ²		
4/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs + isolation dalle de sol pour un U2012 (ou U2014 ou U3)					
Amélioration considérée					12,5 %
	Débit dû à la dalle de sol	931	m ³ /h		
	Débit dû aux parois opaques vert AVANT	702	m ³ /h		
	Débit dû aux parois opaques vert ARRIERE	956	m ³ /h		
	Débit dû au toit	1185	m ³ /h		
	Débit dû aux fenêtres	106	m ³ /h		
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtiment	3880	m ³ /h		
	Etanchéité améliorée	10,29856781	m ³ /h.m ²		
5/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs + isolation dalle de sol avec Upassif (pour tout)					
Amélioration considérée					20 %
	Débit dû à la dalle de sol	852	m ³ /h		
	Débit dû aux parois opaques vert AVANT	561	m ³ /h		
	Débit dû aux parois opaques vert ARRIERE		m ³ /h		
	Débit dû au toit	1083	m ³ /h		
	Débit dû aux fenêtres	21	m ³ /h		
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtiment	2518	m ³ /h		
	Etanchéité améliorée	6,68333561	m ³ /h.m ²		

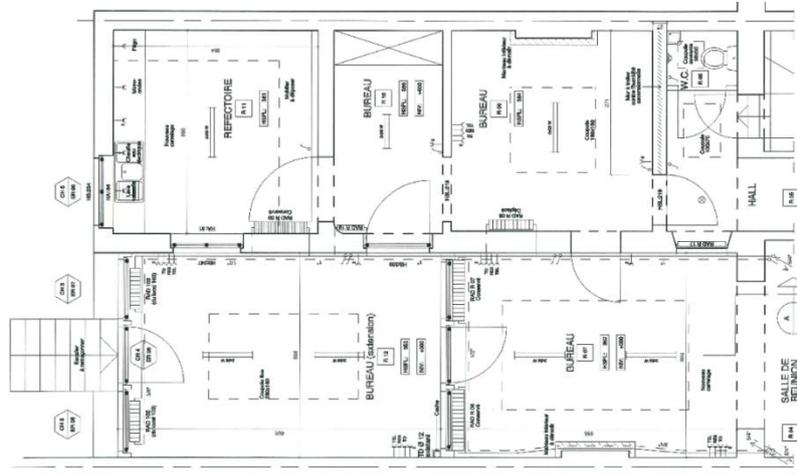
Résidentiel unifamilial 2 - maison 4 façades - MN2			
Bâtiment	Exemple fictif	(m ²)	
	surface dalle sol	124,6	
	surface parois opaques verticales	225,62	
	surface fenêtres	41,7	
	surface toit	109,26	
	surface de déperditions totale	501,18	
	Volume (m³)	663,52	
Etanchéité de référence		17,1 m ³ /h.m ²	
Débit total inf/exf		8570,178 m ³ /h	
HYPOTHESE: toutes les parois opaques laissent passer l'air de la même façon, idem pour toutes les fenêtres			
Pour connaître la répartition de débit inf/exf entre fenêtres et parois opaques:			
			m ³ /h.m ² sous 50 Pa
	Situation de référence	simple vitrage	classe 1; valeur estimée
		double vitrage	25 par nos soins
			17 classe 2
	Valeur de fuite des fenêtres sous 50 Pa	25 m ³ /h.m ²	
		1042,5 m ³ /h	
BASE	Débit dû à la dalle de sol	2041 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert	3696 m ³ /h	
	Débit dû au toit	1790 m ³ /h	
	Débit dû aux fenêtres	1042,5 m ³ /h	
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	8570 m ³ /h	
1/ Remplacement fenêtres uniquement:			
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)			
	Fenêtres de classe 4	double vitrage	m ³ /h.m ² sous 50 Pa
			1,89
	Débit dû à la dalle de sol	2041 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert	3696 m ³ /h	
	Débit dû au toit	1790 m ³ /h	
	Débit dû aux fenêtres	78,813 m ³ /h	
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	7606 m ³ /h	
	Etanchéité améliorée	15,17716389 m ³ /h.m ²	
1bis/ Remplacement du toit uniquement:			
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)			
	Amélioration considérée	12,5%	
	Débit dû à la dalle de sol	2041 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert	3696 m ³ /h	
	Débit dû au toit	1566 m ³ /h	
	Débit dû aux fenêtres	1042,5 m ³ /h	
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	8346 m ³ /h	
	Etanchéité améliorée	16,65355095 m ³ /h.m ²	

2/remplacement des fenêtres + isolation du toit pour un U2012 (ou U2014 ou U3)															
Amélioration considérée			12,5 %												
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>2041 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>3696 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>1566 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>79 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>7383 m³/h</td> </tr> </tbody> </table>		Débit dû à la dalle de sol	2041 m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	3696 m ³ /h	Débit dû au toit	1566 m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	79 m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	7383 m ³ /h				
Débit dû à la dalle de sol	2041 m ³ /h														
Débit dû aux parois opaques vert	3696 m ³ /h														
Débit dû au toit	1566 m ³ /h														
Débit dû aux fenêtres	79 m ³ /h														
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	7383 m ³ /h														
Etanchéité améliorée	14,73071485	m ³ /h.m ²													
3/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs pour un U2012 (ou U2014 ou U3)															
Amélioration considérée			12,5 %												
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>2041 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>3234 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>1566 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>79 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>6921 m³/h</td> </tr> </tbody> </table>		Débit dû à la dalle de sol	2041 m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	3234 m ³ /h	Débit dû au toit	1566 m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	79 m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	6921 m ³ /h				
Débit dû à la dalle de sol	2041 m ³ /h														
Débit dû aux parois opaques vert	3234 m ³ /h														
Débit dû au toit	1566 m ³ /h														
Débit dû aux fenêtres	79 m ³ /h														
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	6921 m ³ /h														
Etanchéité améliorée	13,80880533	m ³ /h.m ²													
4/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs + isolation dalle de sol pour un U2012 (ou U2014 ou U3)															
Amélioration considérée			12,5 %												
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>1786 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>3234 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>1566 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>79 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>6666 m³/h</td> </tr> </tbody> </table>		Débit dû à la dalle de sol	1786 m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	3234 m ³ /h	Débit dû au toit	1566 m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	79 m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	6666 m ³ /h				
Débit dû à la dalle de sol	1786 m ³ /h														
Débit dû aux parois opaques vert	3234 m ³ /h														
Débit dû au toit	1566 m ³ /h														
Débit dû aux fenêtres	79 m ³ /h														
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	6666 m ³ /h														
Etanchéité améliorée	13,29967527	m ³ /h.m ²													
5/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs + isolation dalle de sol avec Upassif (pour tout)															
Amélioration considérée			20 %												
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>1633 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>2957 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>1432 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>16 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>6038 m³/h</td> </tr> </tbody> </table>		Débit dû à la dalle de sol	1633 m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	2957 m ³ /h	Débit dû au toit	1432 m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	16 m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	6038 m ³ /h				
Débit dû à la dalle de sol	1633 m ³ /h														
Débit dû aux parois opaques vert	2957 m ³ /h														
Débit dû au toit	1432 m ³ /h														
Débit dû aux fenêtres	16 m ³ /h														
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	6038 m ³ /h														
Etanchéité améliorée	12,04754459	m ³ /h.m ²													

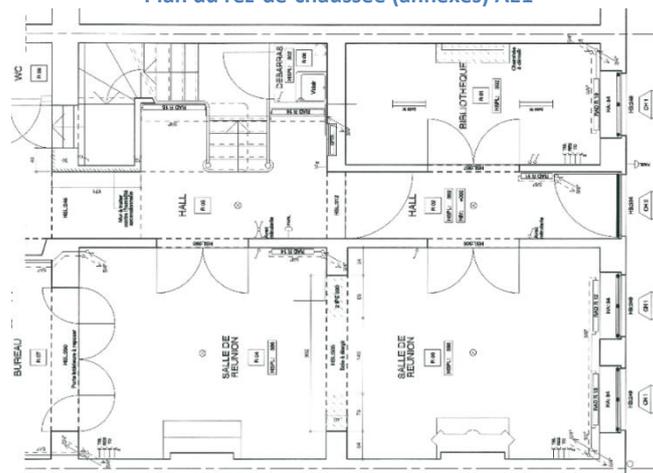
ANNEXE F : PLANS DE L'IMMEUBLE (AE1)



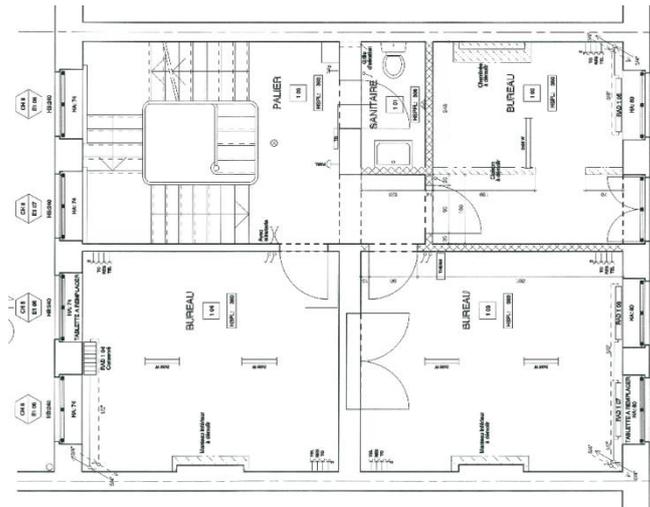
Plan des caves AE1



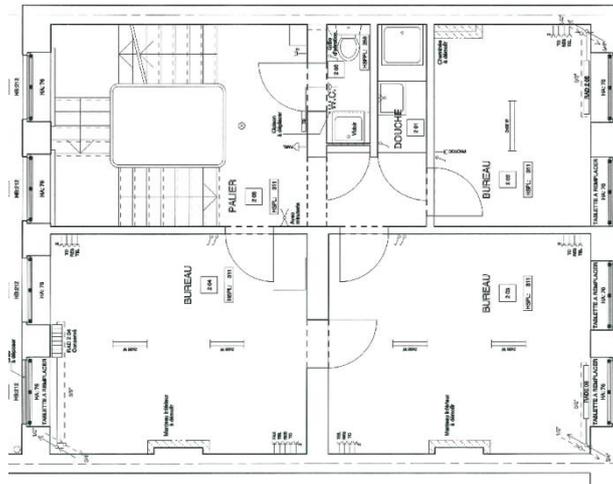
Plan du rez-de-chaussée (annexes) AE1



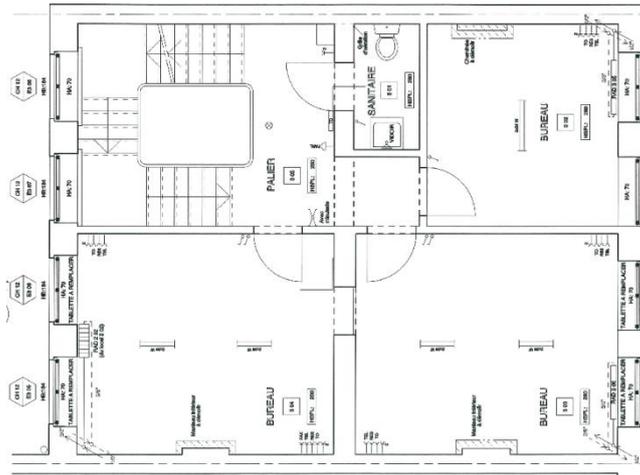
Plan du rez-de-chaussée (bâtiment principal) AE1



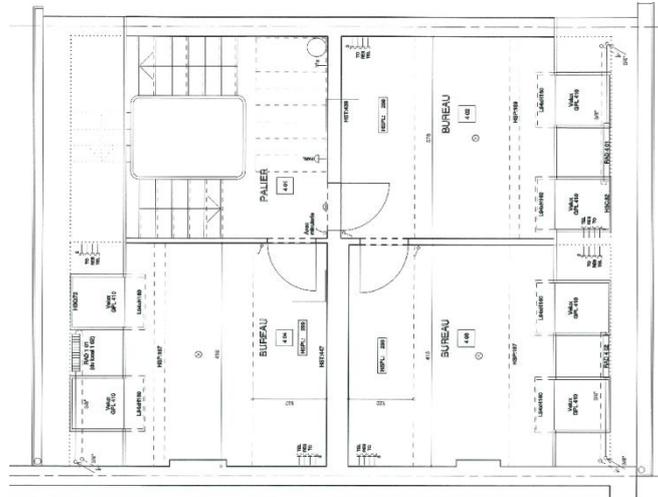
Plan du 1^{er} étage AE1



Plan du 2^e étage AE1



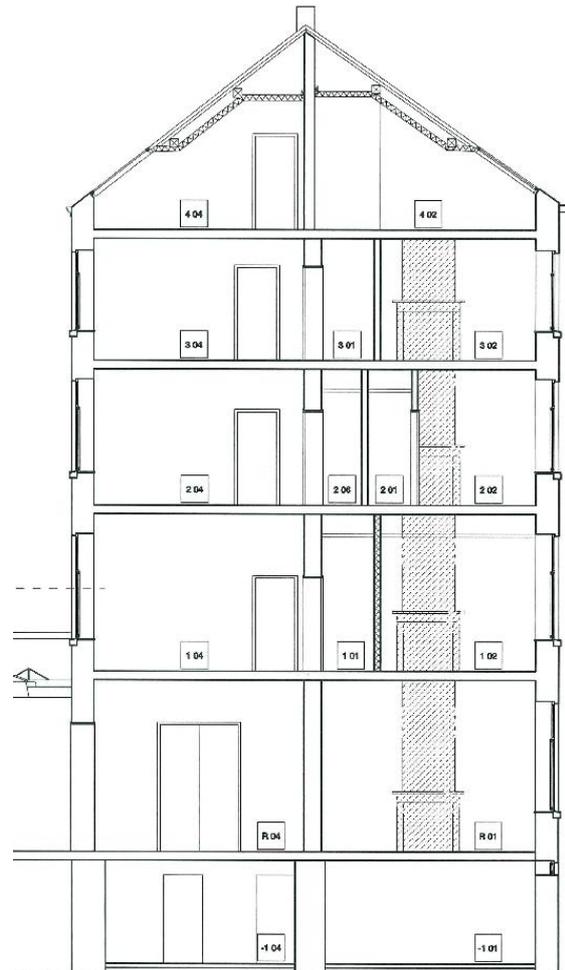
Plan du 3^e étage AE1



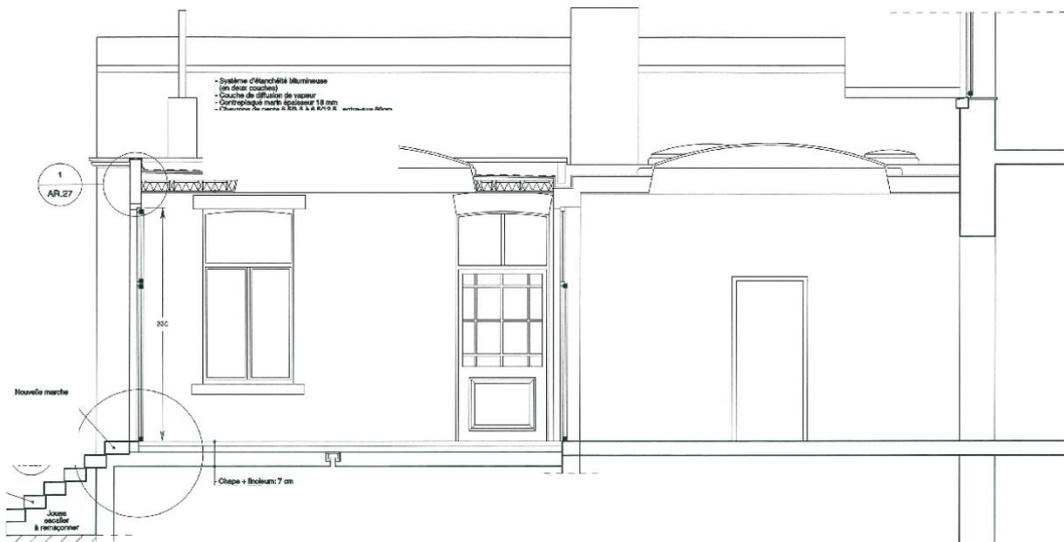
Plan 4^e étage AE1



Façade avant (SO) AE1



Coupe (bâtiment principal) AE1



Coupe (annexes) AE1

ANNEXE G : PLANS DE L'IMMEUBLE (AE2)

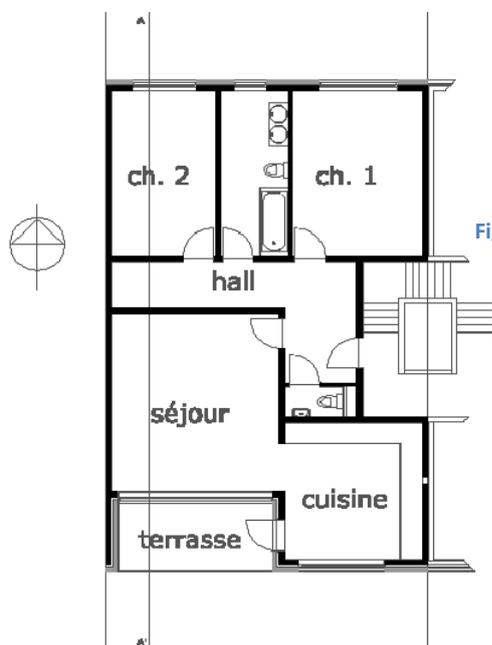


Figure 17 – Plan type d'un niveau AE2

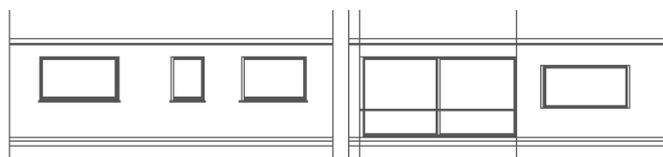


Figure 15 – Façade nord (arrière) AE2 Figure 14 – Façade sud (avant) AE2

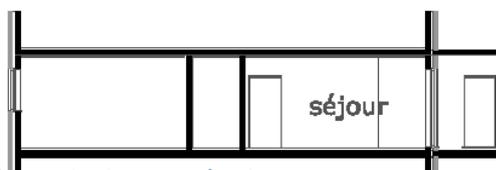
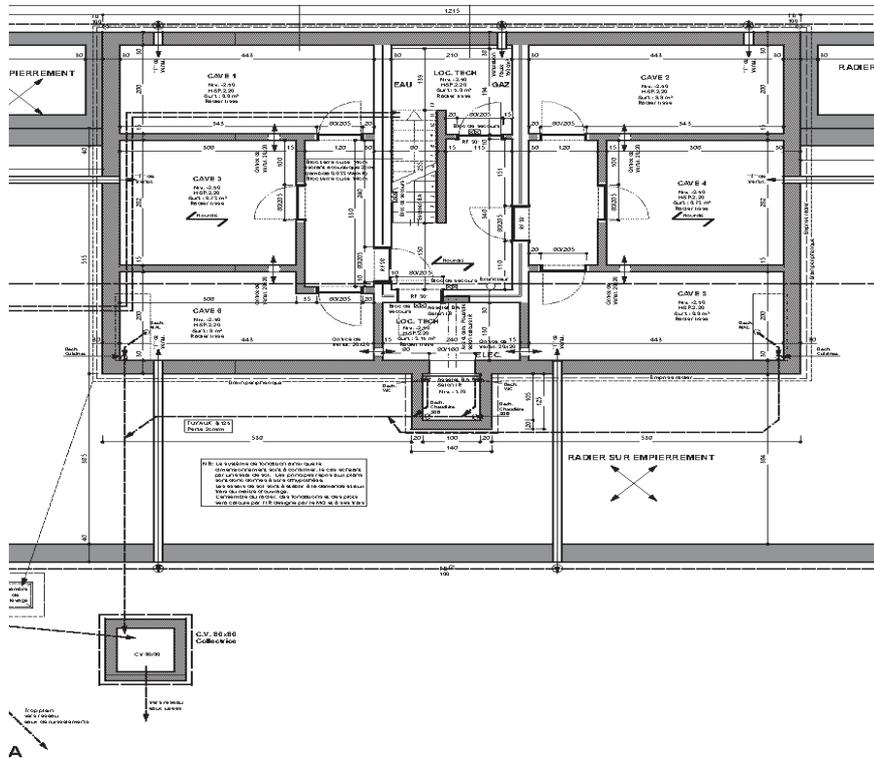
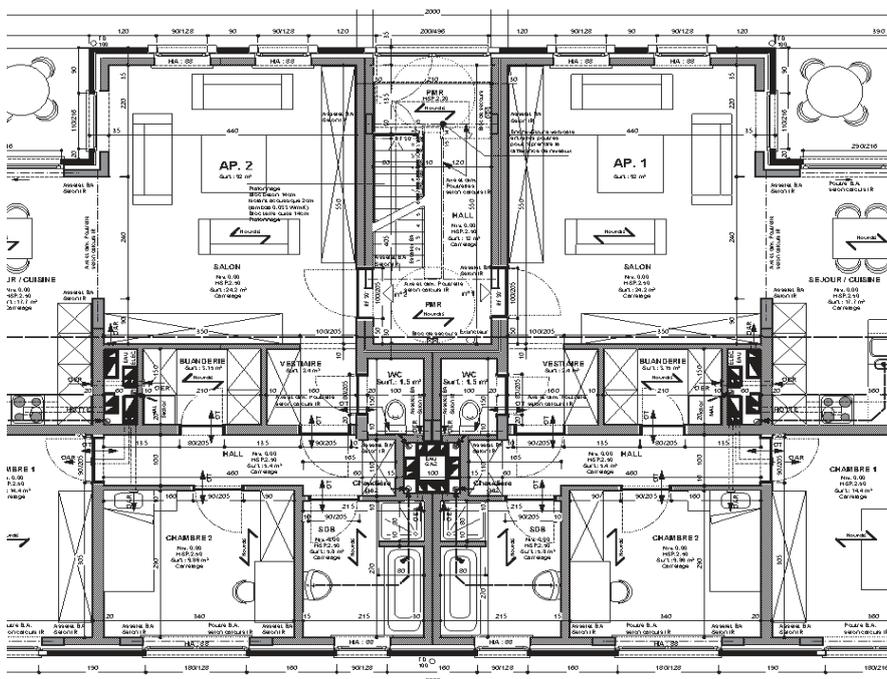


Figure 16 – Coupe A-A' AE2

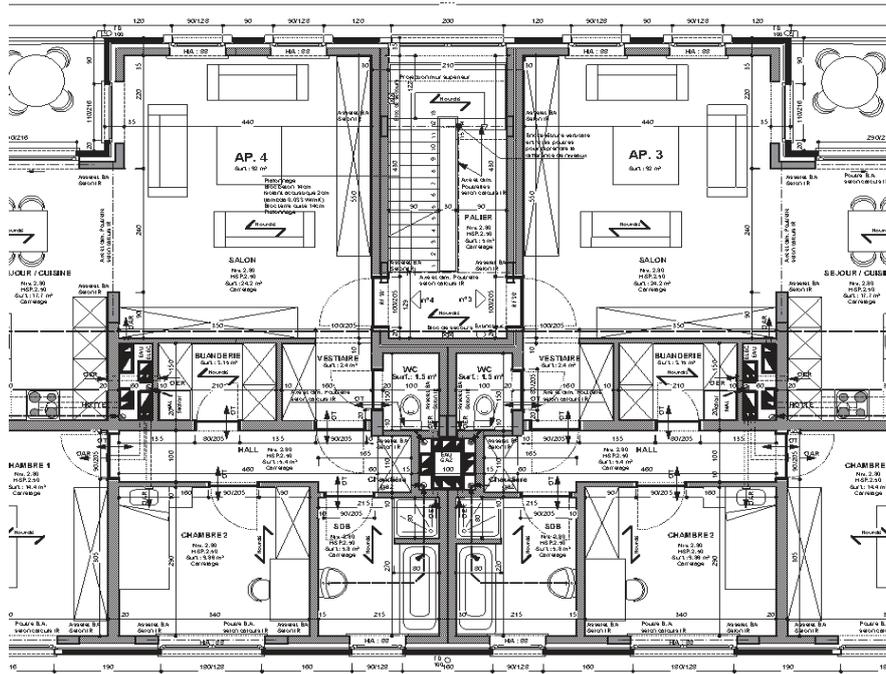
ANNEXE H : PLANS DE L'IMMEUBLE (AN)



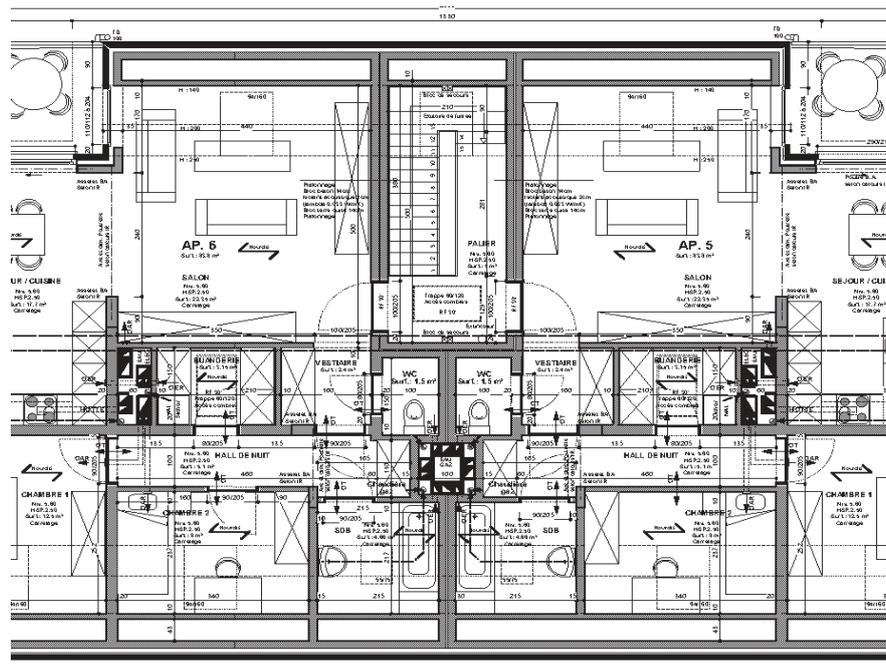
Plan des caves AN



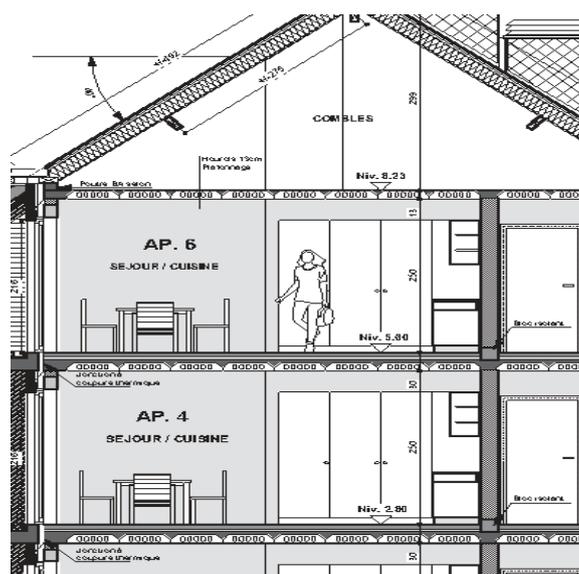
Plan du rez-de-chaussée AN



Plan du 1^e étage AN



Plan du 2^e étage AN



Coupe AA AN

ANNEXE I : ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES BÂTIMENTS EXISTANTS (AE1 ET AE2)

Appartements: AE1			
Bâtiment	Exemple fictif	(m ²)	
	surface dalle sol	194,7	
	surface parois opaques verticales	156,6	
	surface fenêtres	128,53	
	surface toit	179,45	
	surface de déperditions totale	659,28	
	Volume (m ³)	1714,14	
Étanchéité de référence		14,9 m ³ /h.m ²	
Débit total inf/exf		9823,272 m ³ /h	
HYPOTHESE: toutes les parois opaques laissent passer l'air de la même façon, idem pour toutes les fenêtres			
Pour connaître la répartition de débit inf/exf entre fenêtres et parois opaques:			
			m ³ /h.m ² sous 50 Pa
	Situation de référence	simple vitrage	25 classe 1; valeur estimée par nos soins
		double vitrage	17 classe 2
	Valeur de fuite des fenêtres sous 50 Pa	17 m ³ /h.m ²	
		2185,01 m ³ /h	
BASE	Débit dû à la dalle de sol	2802 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert	2254 m ³ /h	
	Débit dû au toit	2583 m ³ /h	
	Débit dû aux fenêtres	2185,01 m ³ /h	
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	9823 m ³ /h	
1/ Remplacement fenêtres uniquement:			
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)			
	Fenêtres de classe 4	double vitrage	1,89 m ³ /h.m ² sous 50 Pa
	Débit dû à la dalle de sol	2802 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert	2254 m ³ /h	
	Débit dû au toit	2583 m ³ /h	
	Débit dû aux fenêtres	242,9217 m ³ /h	
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	7881 m ³ /h	
	Étanchéité améliorée	11,9542284 m ³ /h.m ²	2,945772
1bis/Isolation du toit uniquement			
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)			
	Amélioration considérée	12,5 %	
	Débit dû à la dalle de sol	2802 m ³ /h	
	Débit dû aux parois opaques vert	2254 m ³ /h	
	Débit dû au toit	2260 m ³ /h	
	Débit dû aux fenêtres	2185 m ³ /h	
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	9500 m ³ /h	
	Étanchéité améliorée	14,41034733 m ³ /h.m ²	0,489653

2/remplacement des fenêtres + isolation du toit pour un U2012 (ou U2014 ou U3)																		
Amélioration considérée		12,5 %																
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>2802</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>2254</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>2260</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>243</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>7558</td> <td>m³/h</td> </tr> </tbody> </table>				Débit dû à la dalle de sol	2802	m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	2254	m ³ /h	Débit dû au toit	2260	m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	243	m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	7558	m ³ /h
Débit dû à la dalle de sol	2802	m ³ /h																
Débit dû aux parois opaques vert	2254	m ³ /h																
Débit dû au toit	2260	m ³ /h																
Débit dû aux fenêtres	243	m ³ /h																
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	7558	m ³ /h																
Etanchéité améliorée	11,46457574	m ³ /h.m ²	3,435424															
3/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs pour un U2012 (ou U2014 ou U3)																		
Amélioration considérée		12,5 %																
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>2802</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>1972</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>2260</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>243</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>7277</td> <td>m³/h</td> </tr> </tbody> </table>				Débit dû à la dalle de sol	2802	m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	1972	m ³ /h	Débit dû au toit	2260	m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	243	m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	7277	m ³ /h
Débit dû à la dalle de sol	2802	m ³ /h																
Débit dû aux parois opaques vert	1972	m ³ /h																
Débit dû au toit	2260	m ³ /h																
Débit dû aux fenêtres	243	m ³ /h																
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	7277	m ³ /h																
Etanchéité améliorée	11,03727227	m ³ /h.m ²	3,862728															
4/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs + isolation dalle de sol pour un U2012 (ou U2014 ou U3)																		
Amélioration considérée		12,5 %																
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>2452</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>1972</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>2260</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>243</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>6926</td> <td>m³/h</td> </tr> </tbody> </table>				Débit dû à la dalle de sol	2452	m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	1972	m ³ /h	Débit dû au toit	2260	m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	243	m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	6926	m ³ /h
Débit dû à la dalle de sol	2452	m ³ /h																
Débit dû aux parois opaques vert	1972	m ³ /h																
Débit dû au toit	2260	m ³ /h																
Débit dû aux fenêtres	243	m ³ /h																
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	6926	m ³ /h																
Etanchéité améliorée	10,50600799	m ³ /h.m ²	4,393992															
5/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs + isolation dalle de sol avec Upassif (pour tout)																		
Amélioration considérée		20 %																
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>2242</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>1803</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>2066</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>49</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>6159</td> <td>m³/h</td> </tr> </tbody> </table>				Débit dû à la dalle de sol	2242	m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	1803	m ³ /h	Débit dû au toit	2066	m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	49	m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	6159	m ³ /h
Débit dû à la dalle de sol	2242	m ³ /h																
Débit dû aux parois opaques vert	1803	m ³ /h																
Débit dû au toit	2066	m ³ /h																
Débit dû aux fenêtres	49	m ³ /h																
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	6159	m ³ /h																
Etanchéité améliorée	9,342693544	m ³ /h.m ²	5,557306															

Appartements: AE2				
Bâtiment	Exemple fictif	(m ²)		
	surface dalle sol	197,83	186,07	
	surface parois opaques verticales	873,69		
	surface fenêtres	401,28		
	surface toit	197,83		
	surface de déperditions totale	1670,63		
	Volume (m³)	5649,06		
Etanchéité de référence		14,1 m ³ /h.m ²		
Débit total inf/exf		23555,883 m ³ /h		
HYPOTHESE: toutes les parois opaques laissent passer l'air de la même façon, idem pour toutes les fenêtres				
Pour connaître la répartition de débit inf/exf entre fenêtres et parois opaques:				
			m ³ /h.m ² sous 50 Pa	
	Situation de référence	simple vitrage	25	classe 1; valeur estimée par nos soins
		double vitrage	17	classe 2
	Valeur de fuite des fenêtres sous 50 Pa	17 m ³ /h.m ²		
		6821,76 m ³ /h		
BASE	Débit dû à la dalle de sol	2608 m ³ /h		
	Débit dû aux parois opaques vert	11518 m ³ /h		
	Débit dû au toit	2608 m ³ /h		
	Débit dû aux fenêtres	6821,76 m ³ /h		
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	23556 m ³ /h		
1/ Remplacement fenêtres uniquement:				
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)				
	Fenêtres de classe 4	double vitrage	1,89	m ³ /h.m ² sous 50 Pa
	Débit dû à la dalle de sol	2608 m ³ /h		
	Débit dû aux parois opaques vert	11518 m ³ /h		
	Débit dû au toit	2608 m ³ /h		
	Débit dû aux fenêtres	758,4192 m ³ /h		
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	17493 m ³ /h		
	Etanchéité améliorée	10,47062617 m ³ /h.m ²	3,629374	
1bis/Isolation du toit uniquement				
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)				
	Amélioration considérée	12,5 %		
	Débit dû à la dalle de sol	2608 m ³ /h		
	Débit dû aux parois opaques vert	11518 m ³ /h		
	Débit dû au toit	2282 m ³ /h		
	Débit dû aux fenêtres	6822 m ³ /h		
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	23230 m ³ /h		
	Etanchéité améliorée	13,90486128 m ³ /h.m ²	0,195139	

2/remplacement des fenêtres + isolation du toit pour un U2012 (ou U2014 ou U3)																		
Amélioration considérée		12,5 %																
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>2608</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>11518</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>2282</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>758</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>17167</td> <td>m³/h</td> </tr> </tbody> </table>				Débit dû à la dalle de sol	2608	m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	11518	m ³ /h	Débit dû au toit	2282	m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	758	m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	17167	m ³ /h
Débit dû à la dalle de sol	2608	m ³ /h																
Débit dû aux parois opaques vert	11518	m ³ /h																
Débit dû au toit	2282	m ³ /h																
Débit dû aux fenêtres	758	m ³ /h																
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	17167	m ³ /h																
Etanchéité améliorée	10,27548745	m ³ /h.m ²	3,824513															
3/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs pour un U2012 (ou U2014 ou U3)																		
Amélioration considérée		12,5 %																
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>2608</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>10078</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>2282</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>758</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>15727</td> <td>m³/h</td> </tr> </tbody> </table>				Débit dû à la dalle de sol	2608	m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	10078	m ³ /h	Débit dû au toit	2282	m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	758	m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	15727	m ³ /h
Débit dû à la dalle de sol	2608	m ³ /h																
Débit dû aux parois opaques vert	10078	m ³ /h																
Débit dû au toit	2282	m ³ /h																
Débit dû aux fenêtres	758	m ³ /h																
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	15727	m ³ /h																
Etanchéité améliorée	9,413683119	m ³ /h.m ²	4,686317															
4/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs + isolation dalle de sol pour un U2012 (ou U2014 ou U3)																		
Amélioration considérée		12,5 %																
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>2282</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>10078</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>2282</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>758</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>15401</td> <td>m³/h</td> </tr> </tbody> </table>				Débit dû à la dalle de sol	2282	m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	10078	m ³ /h	Débit dû au toit	2282	m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	758	m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	15401	m ³ /h
Débit dû à la dalle de sol	2282	m ³ /h																
Débit dû aux parois opaques vert	10078	m ³ /h																
Débit dû au toit	2282	m ³ /h																
Débit dû aux fenêtres	758	m ³ /h																
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	15401	m ³ /h																
Etanchéité améliorée	9,218544396	m ³ /h.m ²	4,881456															
5/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation murs + isolation dalle de sol avec Upassif (pour tout)																		
Amélioration considérée		20 %																
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Débit dû à la dalle de sol</td> <td>2086</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux parois opaques vert</td> <td>9214</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû au toit</td> <td>2086</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit dû aux fenêtres</td> <td>152</td> <td>m³/h</td> </tr> <tr> <td>Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim</td> <td>13540</td> <td>m³/h</td> </tr> </tbody> </table>				Débit dû à la dalle de sol	2086	m ³ /h	Débit dû aux parois opaques vert	9214	m ³ /h	Débit dû au toit	2086	m ³ /h	Débit dû aux fenêtres	152	m ³ /h	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	13540	m ³ /h
Débit dû à la dalle de sol	2086	m ³ /h																
Débit dû aux parois opaques vert	9214	m ³ /h																
Débit dû au toit	2086	m ³ /h																
Débit dû aux fenêtres	152	m ³ /h																
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	13540	m ³ /h																
Etanchéité améliorée	8,104598146	m ³ /h.m ²	5,995402															

CO-ZEB

RAPPORT FINAL DU PROJET
(3) DEFINITION DES BATIMENTS DE REFERENCE
POUR LES ECOLES ET POUR LES BUREAUX/SERVICES

JUIN 2013

*Pour le compte du
Département de l'Energie et du Bâtiment durable
SPW-DGO4*



Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE

IMMEUBLES DE BUREAUX ET SERVICES

1.	Définition des bâtiments de Bureaux & Services de référence	6
1.1.	Définition des bâtiments de référence existants	6
1.1.1	Géométrie des bâtiments.....	6
1.1.2	Caractéristiques thermiques des bâtiments de bureaux de référence existants	6
1.1.3	Performances des parois des bâtiments existants: options possibles	10
1.1.4	Bâtiments de bureaux de référence existants	11
1.2.	Définition du nouveau bâtiment de référence	18
1.2.1.	Géométrie du bâtiment.....	18
1.2.2.	Caractéristiques thermiques du nouveau bureau de référence	18
1.2.3.	Nouveau bâtiment de bureaux de référence.....	19
2.	Bâtiments de Bureaux et Services existants.....	23
2.1	Caractéristiques thermiques des quatre scénarii étudiés.....	23
2.2	Liste des groupes de mesures envisagés.....	24
2.3	Liste des variantes	24
2.3.1	Petit bâtiment de bureaux existant (PBE2) : immeuble de 2 étages, années 70	24
2.3.2	Grand bâtiment de bureaux existant (GBE2) : immeuble de 7 étages, avant 1945.....	26
2.4	Hypothèses de simulation PEB et caractéristiques des systèmes des immeubles de bureaux existants	27
2.4.1	Nœuds constructifs	27
2.4.2	Étanchéité à l'air.....	27
2.4.3	Inertie	28
2.4.4	Ombrage.....	28
2.4.5	Protections solaires	28
2.4.6	Ventilation	28
2.4.7	Chauffage et refroidissement.....	28
2.4.8	Éclairage	29
3.	Nouveau bâtiment de Bureaux et Services	30
3.1.	Liste des groupes de mesures envisagés.....	30
3.2.	Mesures envisagées	30

3.3.	Liste des variantes	32
3.4.	Hypothèses de simulation PEB et caractéristiques des systèmes.....	33
3.4.1	Nœuds constructifs	33
3.4.2	Étanchéité à l'air.....	33
3.4.3	Inertie	33
3.4.4	Ombrage.....	33
3.4.5	Protections solaires	34
3.4.6	Ventilation	34
3.4.7	Chauffage et refroidissement.....	34
3.4.8	Eclairage	36
3.4.9	Panneaux PV	37
4.	Définition des bâtiments de Bureaux & Services de référence	38
4.1	Définition des bâtiments de référence existants	38
4.1.1	Données pour les bâtiments destinés à l'enseignement existant.....	38
4.1.2	Bâtiments de référence existants destinés à l'enseignement	39
4.2	Bâtiment neuf de référence destiné à l'enseignement.....	44
4.2.1	Données pour bâtiment destiné à l'enseignement neuf	44
4.2.2	Bâtiment de référence neuf destiné à l'enseignement.....	44
5.	Bâtiments destinés à l'enseignement existants	46
5.1	Caractéristiques thermiques des quatre scénarii étudiés.....	46
5.2	Liste des groupes de mesures envisagés.....	47
5.3	Liste des variantes	47
5.4.1	Petite école de campagne – EE1	47
5.4.2	Grande école de type « athénée » – EE2	49
5.4	Hypothèses de simulation PEB et caractéristiques des systèmes des immeubles de bureaux existants	50
5.4.1	Nœuds constructifs	50
5.4.2	Étanchéité à l'air.....	50
5.4.3	Inertie	51
5.4.4	Ombrage.....	51
5.4.5	Protections solaires	51
5.4.6	Ventilation	51
5.4.7	Chauffage et refroidissement.....	52
5.4.8	Eclairage	52
6.	Nouveau bâtiment destiné à l'enseignement.....	53

6.1	Liste des groupes de mesures envisagés.....	53
6.2	Mesures envisagées	53
6.3	Liste des variantes	54
6.4	Hypothèses de simulation PEB et caractéristiques des systèmes.....	56
6.4.1	Nœuds constructifs	56
6.4.2	Étanchéité à l'air.....	56
6.4.3	Inertie	56
6.4.4	Ombrage.....	56
6.4.5	Protections solaires	56
6.4.6	Ventilation	56
6.4.7	Chauffage	58
6.4.8	Eclairage	59
6.4.9	Panneaux PV	59

ANNEXES

Annexe A : calcul des coefficients de déperditions des parois considérées	61
Annexe B : Fiches récapitulatives des bâtiments de Bureaux et Services existants de référence	62
Annexe C : Fiche récapitulative du nouvel immeuble de Bureaux et Services de référence.....	65
Annexe D : étanchéité à l'air des bâtiments existants	66
Annexe E: débits de ventilation nouveau bâtiment de bureaux et services.....	70
Annexe F: calcul de la puissance produite par photovoltaïque par m ² de toiture plate	71
Annexe E : Plans de la grande école existante EE2	72
Annexe F : Plans de l'école neuve EN.....	73
Annexe G : étanchéité à l'air des bâtiments existants	76

Introduction générale

Dans le cadre de la définition des bâtiments quasi zéro énergie, un ensemble de bâtiments de référence représentatif du parc immobilier wallon a été défini. Ces constructions sont scindées en deux types : bâtiments existants et bâtiments neufs (satisfaisant aux critères PEB en vigueur depuis juin 2012 en Région Wallonne).

L'article 2 du Règlement délégué (UE) n°244/2012 de la Commission du 16 janvier 2012 précise qu'il « incombe aux Etats membres de fixer des exigences minimales en matière de performance énergétique des bâtiments et éléments de bâtiments. Les exigences doivent être fixées en vue de parvenir à des niveaux de performance optimaux en fonction des coûts. »

Pour les bâtiments existants, la situation actuelle en Région Wallonne se traduit par des exigences minimales à respecter au niveau de la performance énergétique des éléments de bâtiments (U_{max}). L'analyse « coût optimum » se base sur ces exigences anno 2012.

Pour les nouvelles constructions, les exigences en vigueur portent à la fois sur le niveau d'isolation (niveau K), la performance énergétique globale (niveau E_w), les installations techniques et la surchauffe (dans le cas d'unités résidentielles). L'ensemble de ces critères est considéré pour ce type de bâtiment.

Le présent document regroupe l'ensemble des hypothèses utilisées afin de définir les bâtiments de référence pour le secteur tertiaire, et ce pour les affectations suivantes:

1. Bâtiments de bureaux et services
2. Bâtiments d'enseignement

Immeubles de bureaux et services

L'Acte Délégué Définitif impose la détermination d'un bâtiment de référence neuf et de deux bâtiments de référence existants pour chaque catégorie de bâtiments étudiée. Le paragraphe suivant traite des caractéristiques des bâtiments de bureaux et services, existants et neufs. L'approche suivie est différente de celle utilisée pour le secteur résidentiel car le type de données disponibles n'est pas le même.

1. DÉFINITION DES BÂTIMENTS DE BUREAUX & SERVICES DE RÉFÉRENCE

1.1. DÉFINITION DES BÂTIMENTS DE RÉFÉRENCE EXISTANTS

1.1.1 GÉOMÉTRIE DES BÂTIMENTS

A ce jour, de nombreuses études et recherches ayant trait à la performance énergétique des bâtiments ont été et sont encore effectuées au niveau des trois Régions. Ces études, portant sur des sujets variés, ont parfois nécessité la définition de bâtiments de référence, afin de caractériser le parc construit, au niveau national ou régional.

L'on citera notamment l'étude EPIcool^[1] (initiée par Bruxelles Environnement - IBGE), portant principalement sur l'évaluation du confort d'été et l'adaptation du critère de surchauffe.

La géométrie des bâtiments de référence pour les bureaux et services est inspirée de cette étude, dans laquelle trois bâtiments tertiaires sont définis et analysés: 2 bâtiments de bureaux (un grand et un petit), et un bâtiment d'enseignement. Les deux bâtiments de bureaux et services de l'étude EPIcool sont à la base des bâtiments considérés dans la présente étude. La géométrie décrite est cohérente pour la Wallonie, où le parc de bureaux bâtis se compose principalement de petites unités, avec toutefois de grandes unités dans les villes plus importantes en taille et dans les zonings industriels.

Le grand bâtiment considéré dans l'étude précitée a néanmoins été diminué de 3 étages (7 étages au total), afin d'être plus représentatif des grands immeubles en Wallonie.

1.1.2 CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DES BÂTIMENTS DE BUREAUX DE RÉFÉRENCE EXISTANTS

Ce paragraphe vise à définir les performances de l'enveloppe à considérer pour les bâtiments existants, afin que ceux-ci soient le plus représentatif possible du parc de bâtiments wallon. Les valeurs utilisées dans l'étude EPIcool n'ont pas été retenues, car elles correspondent à des performances d'enveloppe assez élevées, répondant aux valeurs U_{max} en vigueur à Bruxelles en 2010-2011.

Des données statistiques wallonnes ont été analysées afin de déterminer le niveau de performance

1 "Epicool, Active koeling in EPB software", chapitre "R02 - Definitie en simulatie van referentigebouwen"; Ulg&KUL

adéquat. Le site statbel.fgov.be^[2] fournit des informations concernant le parc de bâtiments tertiaire et résidentiel existant en 2011, dont on peut notamment extraire le nombre de bâtiments selon l'époque de construction.

Répartition du parc tertiaire wallon

En Wallonie, en 2011, la répartition des bâtiments tertiaires était la suivante:

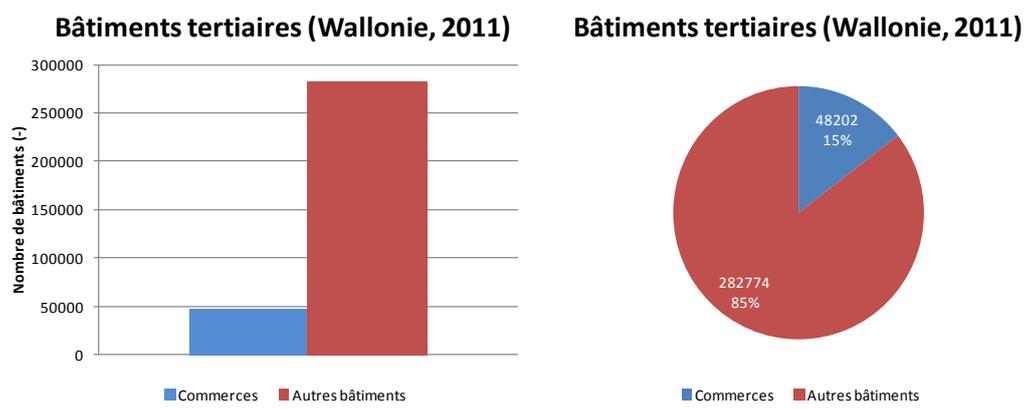


Figure 1 - Nombre de bâtiments tertiaires en Wallonie, année 2011

Malheureusement, les données disponibles sur le site ne détaillent pas la répartition des bâtiments tertiaires considérés. En effet, aucune subdivision autre que "commerces" et "autres bâtiments" n'est disponible. Diverses sources permettent de se faire une idée de la surface représentée par les différentes affectations tertiaires, mais aucune corrélation avec le nombre de bâtiments n'est possible.

Afin de ne pas multiplier les hypothèses, il a été décidé de déterminer des valeurs de U de parois valables pour l'entièreté des bâtiments du secteur tertiaire. Etant donné que l'on peut raisonnablement penser que des bâtiments tertiaires construits au même moment utilisent des techniques de construction semblables, cette simplification est acceptable.

Âge du parc wallon tertiaire existant

Le site statbel.fgov.be^[3] permet également de classer le parc wallon tertiaire existant selon l'année de construction.

Il fournit des informations sur le nombre de permis de bâtir émis pour les années 1996 à 2010, pour les nouveaux bâtiments tertiaires et les rénovations nécessitant un permis.

En couplant ces données, on obtient une estimation de la répartition des bâtiments en fonction de leur année de construction/rénovation pour le parc wallon tertiaire existant en 2011.

Année de construction	Commerces	Autres bâtiments tertiaires
<1900	23673	50156
1900-1918	6897	13852
1919-1945	6471	26282
1946-1961	5251	43825

² http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/economie/bouw_industrie/gebouwenpark/

³ http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/economie/bouw_industrie/gebouwenpark/

1962-1970	1865	36079
1971-1981	1512	44966
>1982	2533	67614

Tableau 1 - Répartition des bâtiments tertiaires en fonction de leur année de construction (statistiques 2011)

Année	Nombre de permis nouvelles construction	Nombre de permis rénovations	Nombre total de permis
1996	2015	1692	3707
1997	2215	1523	3738
1998	2411	1598	4009
1999	2725	1638	4363
2000	2454	1572	4026
2001	1858	1425	3283
2002	1436	1390	2826
2003	960	1242	2202
2004	914	1435	2349
2005	910	1589	2499
2006	999	1666	2665
2007	891	1616	2507
01/09/08-30/04/10	1416	2735	4151
01/05/10-31/08/11	1146	2203	3349
01/0/11-30/04/12	553	955	1508

Tableau 2 - Répartition du nombre de permis de bâtir émis en Wallonie pour le secteur tertiaire (permis pour constructions neuves et rénovations)

Calcul des caractéristiques thermiques des deux bâtiments de référence pour l'existant

Afin de pouvoir estimer des valeurs U des parois des bâtiments de bureaux et services existants en Wallonie, les données ci-dessus ont été groupées en périodes auxquelles sont associées des typologies constructives.

Période de construction	Nombre de bâtiments tertiaires
<1945	127331
1946-1970	87020
1971-1990	51945
1991-31/08/08	56389
01/09/08-30/04/10	4151
01/05/10-31/08/11	3349
01/09/11-01/04/12	1508

Tableau 3 - Répartition du nombre de bâtiments tertiaires (en avril 2012) en Wallonie en fonction de leur période de construction

Pour les différentes périodes définies, les parois suivantes seront utilisées pour caractériser le bâti datant de cette époque. Le calcul détaillé des valeurs U est fourni en Annexe A.

Parois	U (W/m ² K)	<1945	1946-1970	1971-1990	1991-3108/08
Murs					
Briques (plein)	2.13	X			
Béton non isolé	1.71		X		
Béton isolé 2	0.95			X	
Béton isolé 6	0.55				X
Toit					
Béton non isolé	2.90	X	X		
Béton isolé 4	0.81			X	
Béton isolé 8	0.43				X
Parois	R (m ² K/W)	<1945	1946-1970	1971-1990	1991-3108/08
Dalle sol					
Béton non isolé	0.12	X	X		
Béton isolé 2	0.564			X	X
Parois	U _w (W/m ² K)	<1945	1946-1970	1971-1990	1991-3108/08
Fenêtres					
Simple vitrage châssis bois	5	X	X		
Double vitrage châssis métallique	4.3			X	
Double vitrage coupure thermique	3.5				X

Tableau 4 - Composition des parois d'un bâtiment en fonction de sa période de construction.

Si l'on considère que les bâtiments construits depuis l'entrée en vigueur de la PEB ont des parois respectant au minimum les exigences en vigueur au moment de la demande de permis, le tableau suivant peut être généré.

Période de construction	Nombre de bâtiments tertiaires	U murs (W/m ² K)	U toit (W/m ² K)	U fenêtres (W/m ² K)	R dalle sol (m ² K/W)
<1945	127331	2.13	3.16	5	0.125
1946-1970	87020	1.71	3.16	5	0.125
1971-1990	51945	0.68	0.83	4.30	0.564
1991-31/08/08	56389	0.55	0.43	3.5	0.564
01/09/08-30/04/10	4151	0.5	0.3	2.5	0.8*
01/05/10-31/08/11	3349	0.4	0.3	2.5	1
01/09/11-01/04/12	1508	0.4	0.3	2.5	1

Tableau 5 - Types de parois considérées pour les différentes périodes de construction des bâtiments tertiaires en Wallonie, jusqu'au début avril 2012

*A cette période, on ne parlait pas encore de R min mais seulement de U max = 0.9 W/m²K. Nous avons considéré que ce U max correspondait à une résistance de 0.8 m²K/W, soit une résistance quelque peu inférieure à celle des années suivantes, mais supérieure à celle des années précédentes.

1.1.3 PERFORMANCES DES PAROIS DES BÂTIMENTS EXISTANTS: OPTIONS POSSIBLES

Sur base des différentes hypothèses exposées ci-dessus, des U de parois pour les bâtiments tertiaires existants peuvent être calculés, en utilisant une moyenne pondérée sur le nombre de bâtiments. Cette approche présente l'avantage de prendre en compte des données réelles qui concernent le secteur tertiaire dans sa globalité et pas uniquement les Bureaux et services.

Option 1: Valeurs U identiques pour les deux bâtiments (valeurs moyennes)

En utilisant les données exposées au point « Calcul des caractéristiques thermiques des deux bâtiments de référence pour l'existant » et en effectuant une moyenne pondérée sur le nombre de bâtiments, on obtient un U moyen pour chaque type de paroi.

Ces valeurs U caractérisent la globalité du parc tertiaire wallon existant et peuvent dès lors être appliquées aux deux bâtiments de référence existants.

	U murs (W/m ² K)	U toit (W/m ² K)	U fenêtres (W/m ² K)	R dalle sol (m ² K/W)
Moyenne parc bâti wallon (tertiaire)	1.48	2.25	4.57	0.29

Tableau 6 - U moyens des différentes parois de l'enveloppe des bâtiments tertiaires pondérés sur le nombre bâtiments

Option 2: Valeurs U fonction de l'année de construction des bâtiments

Une autre option consiste à associer une période de construction (ainsi que les U de parois correspondants) à chacune des géométries choisies pour représenter les bâtiments de bureaux existants.

La période 'avant 1945' a été associée au grand bâtiment de bureaux, car une grande partie du parc bâti dans le secteur tertiaire wallon date de cette époque (cf. Tableau 5). Le petit bâtiment de bureaux, quant à lui, s'est vu attribuer la période '1971-1990', période correspondant au moment où on a commencé à construire des bâtiments moins imposants et en se souciant un peu plus de conservation de l'énergie. Ces choix conduisent à deux bâtiments de référence représentatifs:

- Un grand bâtiment, d'une certaine hauteur, non isolé et assez ancien ;
- Un petit bâtiment, peu élevé, mieux isolé et plus récent.

Les différents U associé à ces bâtiments sont les suivants:

Période de construction	Nombre de bâtiments tertiaires	U murs (W/m ² K)	U toit (W/m ² K)	U fenêtres (W/m ² K)	R dalle sol (m ² K/W)
Grand bâtiment de bureaux	127331	2.13	2.90	5	0.120
Petit bâtiment de bureaux	51945	0.95	0.81	4.30	0.564

Tableau 7 - Types de parois considérés pour le petit et grand bureaux de référence existants

L'option 2 a été choisie car elle présente l'avantage:

- D'utiliser des valeurs correspondant à des matériaux réels, et non des valeurs statistiques ne correspondant pas toujours à des matériaux existants.
- De couvrir deux périodes de construction différentes, ce qui maximise les chances de rencontrer des bâtiments semblables dans la réalité.

1.1.4 BÂTIMENTS DE BUREAUX DE RÉFÉRENCE EXISTANTS

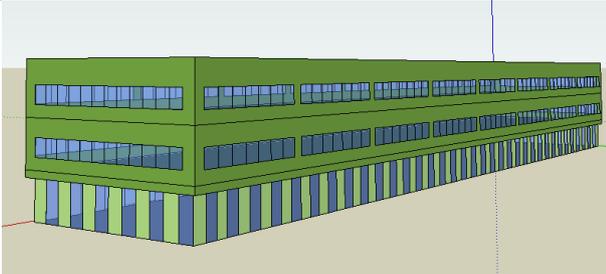
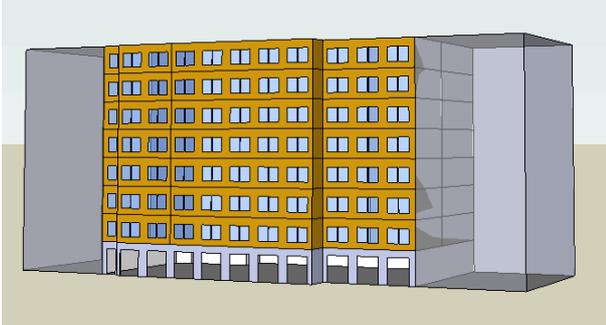
Choix des bâtiments de référence pour les bureaux et services		
Bâtiment	Typologie	Illustration
PBE2	Bâtiment en zone industrielle, 4 façades, peu élevé, faible compacité. Année de construction : 1970	
GBE2	Bâtiment en agglomération (zone non résidentielle). Mitoyen sur deux façades. Construit avant 1945.	

Tableau 8 – Choix des bâtiments de bureaux de référence existants

PBE2 : « Petit bureau » existant, 4 façades

Le petit bâtiment de bureaux étudié est un immeuble de faible compacité, ayant une emprise au sol assez importante, et comportant peu de niveaux. On considère qu'il a été construit dans les années 1970 et qu'il se situe dans un parc industriel.

Monobloc, il comporte 3 étages et est libre sur ses 4 façades. Les façades longitudinales sont respectivement orientées nord et sud; l'entrée se fait via une façade latérale.

Les figures ci-dessous permettent de se faire une idée plus précise de la géométrie de ce bâtiment.

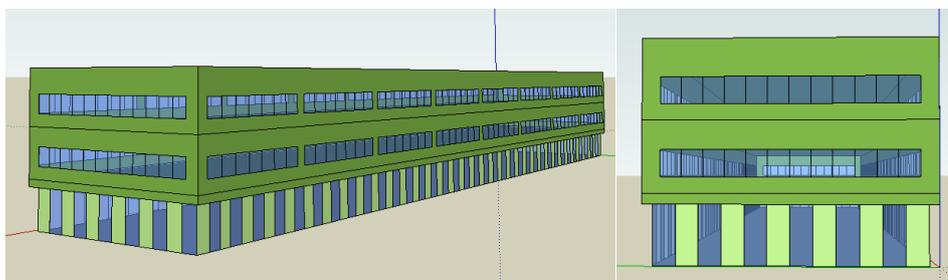


Figure 2 - Petit bâtiment de bureaux (EPICool)

La façade du rez-de-chaussée est vitrée à 50%. Ce niveau accueille une cafétéria, un lobby et un espace central, plus sombre, dans lequel sont situés les techniques et les sanitaires.

Le premier et le second étage sont identiques et consistent en des bureaux paysagers en façade et en salles de réunion et sanitaires en partie centrale.

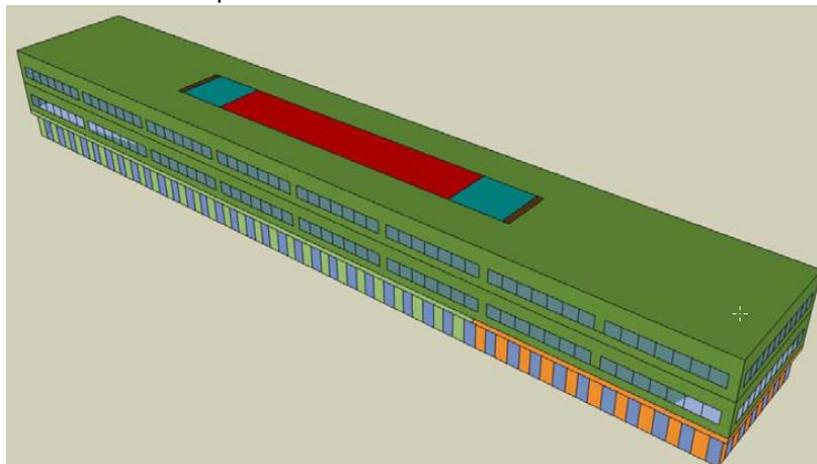


Figure 3 - Petit bâtiment de bureaux (EPIcool): identification des fonctions

La Figure 3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** permet de situer les différentes zones dont il est fait mention ci-dessus:

- En orange: la cafétéria, au rez-de-chaussée
- En vert clair: le lobby, au rez-de-chaussée
- En brun: les espaces techniques et de stockage, principalement au rez-de-chaussée, mais avec des gaines verticales traversant les 3 niveaux
- En bleu: les sanitaires, identiques à chaque étage, en zone centrale
- En vert foncé: les bureaux paysagers, donnant sur la façade, aux niveaux supérieurs
- En rouge: les salles de réunion, à côté des blocs sanitaires

Les Figure 4 et Figure 5 reprennent les caractéristiques géométriques de ce petit bâtiment de bureaux, ainsi que les différentes fonctions qu'il abrite.

*A noter que Espec n'est pas un indicateur utilisé dans la PEB actuelle. Pour une comparaison plus aisée, nous l'avons néanmoins défini comme étant la consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire (kWh) divisée par 1.125 x la surface utile.

INFORMATIONS GENERALES			
Programme	Petit bâtiment de bureaux et services existant - PBE2		
Situation	Torhout		
Architecte	Inconnu		
ENVELOPPE		SYSTEMES	
Surface utile	4403 m ²	Chauffage	chaudière à eau chaude sans condensation, au gaz
Volume protégé	18352 m ³	Refroidissement	Machine à compression de froid
Compacité	3,11 m	Ventilation	Evacuation mécanique
Etanchéité à l'air	12 m ³ /h.m ²		
RESULTATS PEB			
Niveau K: 83			
Niveau Ew: 291			
Niveau Espec*: 379 kWh/m ² .an			

Figure 4 – Informations générales concernant le petit bâtiment de bureaux existant (PBE2)

GEOMETRIE				
Type de paroi	Orientation	Matériau	Uparoi [W/m²K]	Surface [m²]
Mur avant (entrée)	SUD	Plâtre	0.95	710.53
Mur arrière	NORD	Béton lourd (20 cm)		714.53
Mur latéral gauche	OUEST	Isolant (2 cm)/coulisse		115
Mur latéral droit	EST	panneaux de béton		115
Fenêtres avant	SUD	double vitrage avec châssis métallique	4.3	452.4
Fenêtres arrière	NORD			448.4
Fenêtres façade gauche	OUEST			69.13
Fenêtres façade droite	EST			69.13
Toiture		Plafonnage béton lourd (30 cm) Isolation (4 cm) Etanchéité Lestage	0.81	1600
Dalle de sol		Béton lourd (20 cm)	0.57*	1600
Plancher en porte-à-faux		Isolation (2 cm)	1.29	
		Mortier ciment Carrelage terre cuite		

* valeur obtenue en utilisant la méthode de calcul simplifiée

Figure 5 – Géométrie du petit bâtiment de bureaux existant (PBE2)

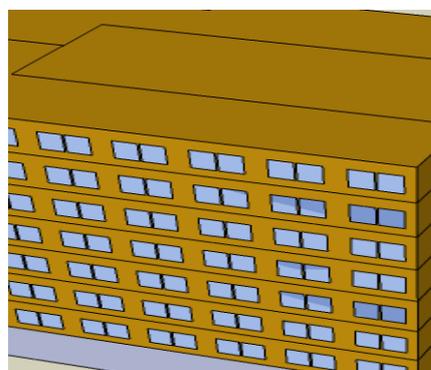
GBE2 : « Grand bâtiment » de bureaux existant, 2 façades

Le grand bâtiment de bureaux, quant à lui, est un immeuble assez compact, comportant 7 étages et mitoyen sur ses deux façades latérales. On considère qu'il est situé en agglomération, dans une zone non résidentielle où d'autres entreprises sont également présentes. La façade principale est orientée au nord-ouest. Un parking ouvert, ne faisant pas partie du volume protégé, occupe le rez-de-chaussée.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** figure ci-dessous permet de se faire une idée plus précise de la géométrie du bâtiment.



Vue ouest (avant)



Vue est (arrière)

Figure 6 - Grand bâtiment de bureaux (basé sur l'étude EPIcool)

Le grand bâtiment de bureaux est mitoyen sur ses façades latérales.

La proportion de fenêtres par rapport aux façades en contact avec l'extérieur est d'environ 42%, ce qui représente une surface vitrée de 582 m². Tous les étages sont identiques: dans le noyau central, un espace abrite les techniques et les circulations; autour, se trouvent des bureaux et des salles de réunions.

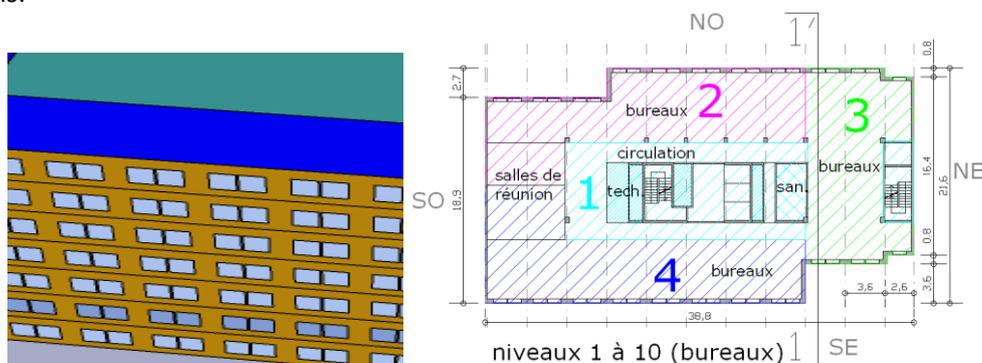


Figure 7 - Grand bâtiment de bureaux (basé sur l'étude EPIcool): identification des fonctions

La Figure 7 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** permet de situer les différentes zones dont il est fait mention ci-dessus:

- cyan (1): les espaces techniques et la circulation principale, dans le noyau central
- magenta (2): les bureaux et salles de réunion orientés au nord-ouest
- vert (3): les bureaux ayant une façade à la fois au nord-ouest et au sud-est
- bleu (4): les bureaux et salles de réunion orientés au sud-est

Les Figure 8 et Figure 9 reprennent les caractéristiques géométriques de ce grand bâtiment de bureaux, ainsi que les différentes fonctions qu'il abrite.

INFORMATIONS GENERALES			
Programme	Grand bâtiment de bureaux et services existant - GBE2		
Situation	Charleroi		
Architecte	Inconnu		
ENVELOPPE		SYSTEMES	
Surface utile	5089 m ²	Chauffage	chaudière à eau chaude sans condensation, au gaz
Volume protégé	17769 m ³	Refroidissement	Machine à compression de froid
Compacité	5,06 m	Ventilation	Evacuation mécanique
Etanchéité à l'air	12 m ³ /h.m ²		
RESULTATS PEB			
Niveau K: 148			
Niveau Ew: 408			
Niveau Spec*: 334 kWh/m ² .an			

Figure 8 – Informations générales concernant le grand bâtiment de bureaux existant (GBE2)

GEOMETRIE				
Type de paroi	Orientation	Matériau	Uparoi [W/m²K]	Surface [m²]
Mur avant (entrée)	NORD-OUEST	Briques (39 cm)	2.00	605.22
Mur arrière	SUD-EST			605.22
Mur latéral gauche	NORD-EST			120.12
Mur latéral droit	SUD-OUEST			62.37
Fenêtres avant	NORD-OUEST	simple vitrage châssis bois	5	291.06
Fenêtres arrière	SUD-EST			291.06
Fenêtres façade gauche	NORD-EST			0
Fenêtres façade droite	SUD-OUEST			0
Toiture		béton lourd (30cm)	3.04	769
Dalle sur parking		Béton lourd (20 cm)	3.04	769
		Mortier ciment		
		Carrelage terre cuite		

Figure 9 – Géométrie du grand bâtiment de bureaux existant (GBE2)

Le tableau ci-dessous résume les résultats PEB des deux bureaux existants étudiés.

RESULTATS PEB	
PBE2	Niveau K : 83 Niveau Ew : 291 Niveau Espec* : 379 kWh/m².an
GBE2	Niveau K : 148 Niveau Ew : 408 Niveau Espec* : 334 kWh/m².an

Tableau 9 – Résultats PEB pour les bâtiments de bureaux et services existants

NB : ces valeurs ont été obtenues sans tenir compte des ponts thermiques.

Les valeurs semblent assez représentatives du parc wallon de bureaux et services. En effet, trois audits de bâtiments de Bureaux et Services nous ont été transmis par la conseillère énergie de la commune de Farciennes, et les valeurs K correspondantes sont en ligne avec les valeurs ci-dessus.

Estimation des niveaux K pour les 3 bâtiments précités, via une approche simplifiée suivant la NBN B62-301:

- Administration communale de Farciennes (fait partie d'un bloc de 4 bâtiments): K74, sans les ponts thermiques
- Bureaux abritant le Service des Travaux de la Commune de Farciennes (fait partie d'un bloc de 3 bâtiments): K91, sans les ponts thermiques
- Bâtiment du CPAS de Farciennes (également présent sur le site, un chalet): K138, sans les ponts thermiques

En ce qui concerne la consommation de ces bâtiments, certaines informations étaient également disponibles, mais pour la totalité des bâtiments présents sur chaque site. Il n'est pas possible d'isoler la consommation spécifique aux 3 bâtiments de bureaux présentés ci-dessus.

Cependant, dans le cas du CPAS de Farciennes, le chalet présent sur le site a une surface tellement

réduite (60 m²) qu'on la considère comme négligeable par rapport au bâtiment du CPAS lui-même (1500 m²). On peut donc raisonnablement utiliser la consommation du site pour vérifier les valeurs de consommation des bâtiments de référence, en tenant compte du fait que les consommations électriques sont pour la totalité des installations électriques, y compris la bureautique ou d'autres installations tels que les cuisines.

Entité	Chauffage: consommation finale moyenne surfacique [kWh/m ² an]	Electricité: consommation moyenne surfacique [kWh/m ² an]
CPAS + chalet Farciennes	133	55

Tableau 10 - Consommations finales spécifiques pour le chauffage et l'électricité du CPAS (+châlet) de Farciennes

En comparaison, les consommations finales spécifiques des bâtiments de références simulés sont les suivantes (données issues du logiciel PEB):

Bâtiment	Chauffage: consommation finale moyenne surfacique [kWh/m ² an]	Electricité*: consommation finale moyenne surfacique [kWh/m ² an]
PBE2	213	32
GBE2	215	32

* la consommation finale en électricité comprend l'éclairage et les auxiliaires

Tableau 11 - Consommations finales spécifiques pour le chauffage et l'électricité des bâtiments de B&S existants de référence

La consommation finale associée au chauffage peut paraître un peu élevée pour les bâtiments de référence comparée à la consommation du CPAS de Farciennes. Par contre, leur consommation en électricité peut paraître sous-évaluée, mais il faut tenir compte du fait que la consommation réelle du CPAS englobe énormément d'éléments (électroménagers, lampes de bureaux, autres équipements électriques...) qui ne sont pas nécessairement pris en compte dans le logiciel PEB. De plus, afin de comparer ce qui est comparable, la consommation associée au système de refroidissement a été déduite de la valeur de consommation en électricité des PBE2 et GBE2.

Les valeurs obtenues semblent cependant se situer dans la moyenne, comme le montrent différentes études dont les résultats sont compilés dans les tableaux ci-dessous (source : site Energie+).

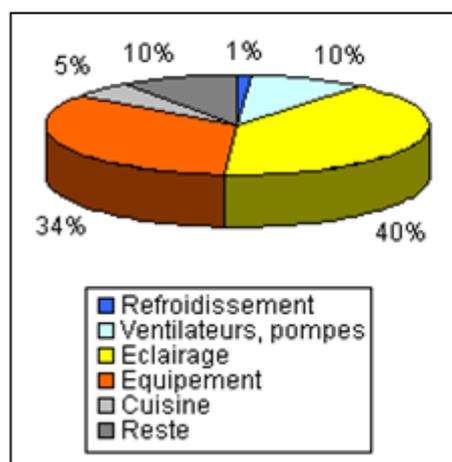
Chauffage		Electricité	
Type de bâtiment	Consommation (kWh/m ² x an)	Type de bâtiment	Consommation (kWh/m ² x an)
Bâtiment ancien	100 à 220	Sans climatisation	35 à 100
Bâtiment récent	70 à 150	Avec climatisation	100 à 160

Tableau 12 – Consommation liée au chauffage et consommation électrique pour 2 types de bâtiments de bureaux existants ^[4]

4 Consommation d'électricité et de combustible des bureaux - énergie+ : [http://www.energieplus-](http://www.energieplus-les.com)

La consommation en électricité de nos bâtiments de référence reste faible, mais la Figure 10 montre que l'un des postes les plus importants dans les bureaux et services est constitué des équipements (34 ou 28% selon le cas envisagé) qui ne peuvent pas être encodés de manière détaillée dans la PEB (électroménager, ordinateurs, lampes de bureaux...)

Répartition des consommations électriques d'un petit bâtiment.



Répartition des consommations électriques d'un bâtiment climatisé.

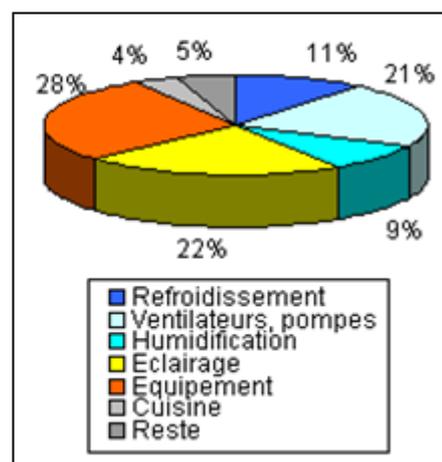


Figure 10- Répartition des consommations électriques pour un petit bâtiment de bureaux climatisé localement et un grand bâtiment de bureaux climatisés ^[5]

Il existe tellement de typologies différentes de bureaux et services que chaque cas pourra donner des valeurs fortement différentes.

Si l'on tient compte du fait que la plupart des bâtiments de bureaux et services en Wallonie sont des bâtiments publics, une enquête réalisée par l'Institut de Conseils et d'Etudes en Développement Durable sur 62 établissements de 200 à 30.000 m² conforte le fait que nos bâtiments sont représentatifs du bâti wallon existant (Figure 11).

122 établissements de 138 à 30 000 m ² (surface totale 437 554 m ²)		
Type de vecteur énergétique	Electricité	Combustibles
Ecart-type	53	114
Consommation spécifique moyenne	53 kWh/m ²	170 kWh/m ²

Figure 11- Caractéristiques de l'échantillon et consommations finales spécifiques moyennes par mètre carré des bureaux publics HT en 2004 ^[6]

Des fiches récapitulatives des bâtiments de bureaux de référence existants ainsi que des tableaux reprenant les différentes zones encodées sont présentées en Annexe B.

lesite.be/index.php?id=11501

5 Consommation d'électricité et de combustible des bureaux - énergie+ : <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11501>

6 Consommation d'électricité et de combustible des bureaux - énergie+ : <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11501>

1.2. DÉFINITION DU NOUVEAU BÂTIMENT DE RÉFÉRENCE

1.2.1. GÉOMÉTRIE DU BÂTIMENT

En ce qui concerne le nouveau bâtiment de Bureaux & Services, la logique suivie consiste à extraire une surface représentative des nouveaux bâtiments de bureaux et services, sur base de données relatives aux nouveaux bâtiments de Bureaux & Services disponibles pour la Flandre (les mêmes données n'étant pas disponibles pour la Wallonie).

Un bâtiment de bureaux récent ayant une surface proche de celle de l'échantillon de données a ensuite été choisi. Sa géométrie s'apparente dès lors à la géométrie de référence pour les nouveaux bâtiments de bureaux et services.

Surface caractéristique des nouveaux bâtiments de bureaux en Flandres

Une liste de 367 bâtiments de bureaux et services dont la demande de permis a été introduite entre 2006 et 2011 a été fournie par la région flamande.

Cette liste reprend notamment la surface brute de chaque bâtiment. Sur base de cet élément, une moyenne a été effectuée, permettant ainsi de définir un bâtiment de bureaux représentatif pour la Flandre. On peut raisonnablement considérer que ce bâtiment est représentatif des nouveaux bâtiments construits en Wallonie.

La surface moyenne brute de Bureaux et Services extraite de ces données est de 864 m², ce qui correspond approximativement à une surface utile de 785 m². Il a été décidé de considérer un nouveau bâtiment de référence ayant une superficie utile comprise entre minimum 1000 m² et maximum 1500 m², afin de rester proche de la valeur issue des données analysées pour la Flandre.

Le nouveau bâtiment de référence pour les bureaux et services est à la base un bâtiment passif du groupe INVESTSUD. Il est situé à Marche-en-Famenne. Le fichier PEB (non définitif) ainsi que les plans de celui-ci ont été fournis par le bureau de techniques spéciales MK Engineering.

1.2.2. CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DU NOUVEAU BUREAU DE RÉFÉRENCE

Sur base de la géométrie de ce bâtiment, les caractéristiques thermiques de l'enveloppe ainsi que les systèmes HVAC de la construction ont été déterminés de manière à se rapprocher le plus possible des exigences PEB minimum en vigueur depuis juin 2012, à savoir: maximum K 45 et Ew 80.

Les caractéristiques thermiques de l'enveloppe, résumées au paragraphe suivant, sont définies de manière à ce que le niveau K du bâtiment satisfasse aux exigences précitées. Les parois répondent également à toutes les exigences en matière de U maximum et de R minimum.

Le tableau ci-dessous reprend les différentes parois de déperditions du bâtiment ainsi que les valeurs U qui y sont associées.

Nouveau bureau de référence	U (W/m ² K)
Parois opaques	
• Façade en contact avec l'extérieur	0.32
• Dalle de sol/sur parking	0.35
• Toit plat	0.27
• Portes opaques	2.20

Nouveau bureau de référence	U (W/m ² K)	Facteur solaire g (-)
Parois transparentes (fenêtres)		
• Châssis métallique (aluminium)	3.5	-
• Vitrage	1.3	0.63
Parois transparentes (exutoire)		
• Châssis + vitrage	1.4	0.52

Tableau 13 – Caractéristiques thermiques du nouveau bâtiment de bureaux de référence

Nouveau bureau de référence	Valeur	Unité
Étanchéité à l'air	4	m ³ /h.m ²
Méthode de calcul des ponts thermiques	Méthode B	K+3

Tableau 14 – Caractéristiques de l'enveloppe du nouveau bâtiment de bureaux de référence

1.2.3. NOUVEAU BÂTIMENT DE BUREAUX DE RÉFÉRENCE

Nouveau bâtiment de référence pour les bureaux et services		
Bâtiment	Typologie	Illustration
NB	Bâtiment en zone industrielle, 4 façades, peu élevé, faible compacité. Année de construction: 2012	

Tableau 15 – Nouveau bureau de référence

NB : Nouveau bâtiment de bureaux 4 façades

Le nouveau bâtiment de bureaux et services a été défini sur base d'un bâtiment comportant 3 niveaux, libre sur ses 4 façades, situé à Marche-en-Famenne. Le premier niveau est le sous-sol, occupé par un parking (hors du volume protégé), des archives et divers locaux techniques.

Le bâtiment à la base de la référence est le premier immeuble de bureaux passifs de type promotionnel en Wallonie.

Les photos ci-dessous permettent de se faire une idée plus précise de la géométrie et de l'architecture de ce bâtiment.



Figure 12 – Bâtiment de bureaux ayant servi de base au nouveau bâtiment de référence pour les Bureaux & Services (source: MK Engineering)

Les façades du bâtiment sont vitrées à 34 %. Les façades longitudinales sont orientées nord et sud; l'entrée se fait via une façade latérale.

Le rez-de-chaussée et l'étage comportent principalement des bureaux paysagers, comme le montre la figure ci-dessous.

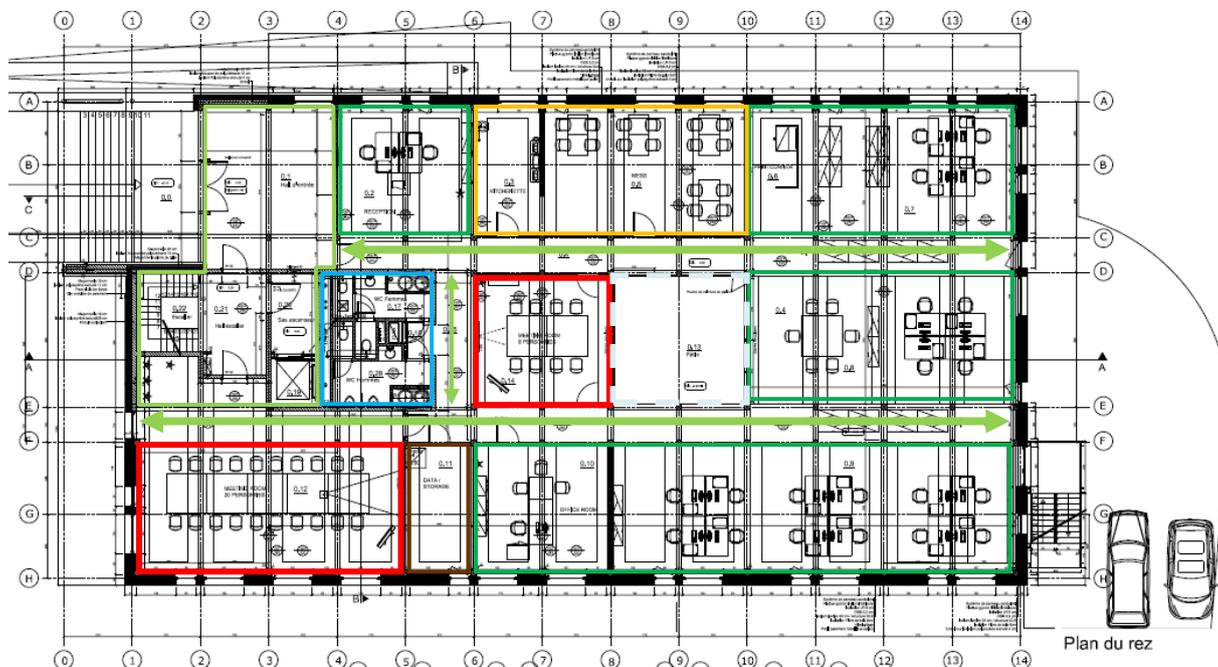


Figure 13 – Plan type (rez-de-chaussée) du nouveau bâtiment de bureaux et services (source : MK Engineering)

La Figure 13 permet de situer les différentes zones du bâtiment:

- En orange: la kitchenette et le mess
- En vert clair: le lobby ainsi que les espaces de circulation
- En brun: l'espace « data » et de stockage
- En bleu: les sanitaires
- En vert foncé: les bureaux paysagers
- En rouge: les salles de réunion

Les Figure 14 et Figure 15 reprennent les caractéristiques géométriques de ce nouveau bâtiment de bureaux, ainsi que les différentes fonctions qu'il abrite.

INFORMATIONS GENERALES			
Programme	Nouveau bâtiment de bureaux et services - NB		
Situation	Marche-en-Famenne		
Architecte	Synergy International		
ENVELOPPE		SYSTEMES	
Surface utile	1272 m ²	Chauffage	chaudière à condensation, au gaz
Volume protégé	5503 m ³	Refroidissement	Machine à compression de froid
Compacité	2.3 m	Ventilation	Alimentation et évacuation mécaniques avec récup. de chaleur
Etanchéité à l'air	4 m ³ /h.m ²		
RESULTATS PEB			
Niveau K: 44			
Niveau Ew: 78			
Niveau Espec*: 173 kWh/m ² .an			

*Espec: pas un indicateur réglementaire de la PEB actuelle. Défini comme étant la consommation annuelle d'énergie primaire (kWh) divisée par 1.125 x la surface utile

Figure 14 – Informations générales concernant le nouveau bâtiment de bureaux et services (NB)

GEOMETRIE				
Type de paroi	Orientation	Matériau	Uparoi [W/m ² K]	Surface [m ²]
Mur avant (entrée)		Plâtre		
Mur arrière		Béton normal	0.32	702
Mur latéral gauche		Isolant		
Mur latéral droit		Enduit		
Fenêtres avant	NORD-OUEST	Double vitrage châssis		118
Fenêtres arrière	SUD-EST	aluminium à coupure	2.2	98
Fenêtres façade gauche	NORD-EST	thermique		69
Fenêtres façade droite	SUD-OUEST			51
Exutoire			1.4	2
Toiture		Plâtre Béton normal lourd Isolant Etanchéité Lestage	0.27	675
Dalle de sol		Membrane bitumeuse Béton lourd (15 cm) Isolant Chape Carrelage	0.35*	678

* valeur obtenue en utilisant le calcul simplifié lorsque l'isolant est en contact avec le sol

Figure 15 – Géométrie du petit bâtiment de bureaux existant (PBE2)

L'encodage du nouveau bâtiment de référence a été réalisé dans le logiciel PEB 3.0.0 de la région wallonne et converti dans la version 3.5.2. Les résultats suivants ont été obtenus.

NB de référence	RESULTATS PEB
	Niveau K : 44 Niveau Ew : 78 Niveau Espec* : 173

*Espec : même remarque que Figure 14

Tableau 16 – Résultats PEB pour le nouveau bâtiment de référence

Les valeurs ci-dessus tiennent compte des ponts thermiques via la méthode B, soit une augmentation de 3 points au niveau du K.

Une fiche récapitulative du nouveau bâtiment de bureaux de référence est présentée en Annexe C.

2. BÂTIMENTS DE BUREAUX ET SERVICES EXISTANTS

L'analyse du cadre méthodologique suit la même logique que celle développée pour les bâtiments résidentiels. Nous mettons simplement en évidence les différences qui apparaissent lorsque l'on traite un bâtiment tertiaire.

L'ensemble des mesures / groupes / variantes étudiés pour les bâtiments de bureaux et services existants est construit à partir de modifications des parois opaques, des fenêtres (vitrage + châssis), du plancher et de la toiture.

Les différentes options envisagées suivent un canevas semblable à celui proposé pour le secteur résidentiel. Pour une même paroi, le canevas d'actions est le suivant:

1ère opération:

- Respect des exigences U_{max} actuelles (PEB 2012)

2ème opération:

- Respect des exigences U_{max} d'application en 2014

3ème opération:

- Respect d'un niveau de performance intermédiaire entre celui exigé en 2014 et le standard passif. Dans cette opération, un vitrage solaire est appliqué

4ème opération:

- Respect des exigences liées au standard passif

De façon similaire au secteur résidentiel, lorsqu'un audit énergétique est nécessaire pour obtenir la prime, il est également pris en compte dans le calcul du coût associé à la mesure / groupe / variante.

2.1 CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DES QUATRE SCÉNARIIS ÉTUDIÉS

Les différentes caractéristiques thermiques des parois sont identiques à celles considérées dans le secteur résidentiel. Pour rappel :

	U2012 (base)		U2014		U3		Upassif	
PAROIS OPAQUES	U (W/m²K)							
façades	0.32		0.24		0.20		0.15	
sol	0.35		0.30		0.24		0.15	
toiture	0.27		0.24		0.20		0.15	
portes	2.20		2.00		1.50		0.80	
PAROIS TRANSLUCIDES	U (W/m²K), g (-) et T_L (-)							
	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g
fenêtres	2.2	1.3	1.8	1.1	1.4	0.8	0.8	0.5
	g=0.63 T _L =0.8		g=0.5 T _L =0.71		g=0.38 T _L =0.71		g=0.5 T _L =0.71	

Tableau 17 – Caractéristiques thermiques des parois pour les immeubles de bureaux et services existants

2.2 LISTE DES GROUPES DE MESURES ENVISAGÉS

- Remplacement des fenêtres seules: F
- Isolation de la toiture seule : Utoit
- Remplacement des fenêtres et isolation de la toiture: F + Utoit
- Remplacement des fenêtres, isolation du toit et des parois opaques: F + Utoit + Umur
- Remplacement des fenêtres, isolation du toit, des parois opaques et de la dalle de sol: F + Utoit + Umur + Usol

En comparaison avec le secteur résidentiel, nous n'avons pas jugé utile d'envisager la mesure consistant à remplacer uniquement le vitrage de la fenêtre, et non l'entièreté de la fenêtre. En effet, dans les bâtiments de référence étudiés, aucun châssis bois (ayant une valeur architecturale, par exemple) n'a été envisagé, il est donc peu probable qu'un maître d'ouvrage décide de changer uniquement le vitrage, sans agir en même temps sur les châssis.

2.3 LISTE DES VARIANTES

2.3.1 PETIT BÂTIMENT DE BUREAUX EXISTANT (PBE2) : IMMEUBLE DE 2 ÉTAGES, ANNÉES 70

Le petit immeuble de bureaux de référence est un bâtiment peu élevé (3 étages), mais très allongé. On considère qu'il a été construit dans les années 70 et qu'il se situe dans un parc industriel.

Les façades de ce bâtiment de bureaux sont constituées de murs en béton, comportant une coulisse de 2 cm, 2 cm d'isolant puis un parement fait de panneaux de béton. Sa dalle de sol est directement en contact avec le sol, et le bâtiment est libre sur ses 4 façades.

Les fenêtres existantes sont composées de double vitrage à châssis métallique, sans coupure thermique. Leur facteur solaire vaut 0.75.

La toiture, quant à elle, est composée de béton lourd sur lequel est placé une isolation de 4cm, recouverte d'une étanchéité et de lestage.

Pour l'isolation des parois opaques, nous envisageons les deux cas suivants:

- Par l'extérieur (le bâtiment étant libre sur ces 4 façades et n'étant pas situé en milieu urbain). On conserve donc l'isolant existant placé dans la coulisse.
- Par l'intérieur (en gardant cependant à l'esprit que cette solution peut engendrer des problèmes de condensation, qui ne sont pas évalués dans cette étude)

L'isolation de la coulisse n'est pas envisagée dans ce cas, car les 2 cm disponibles ne permettent pas d'atteindre la résistance nécessaire pour obtenir la prime..

Pour l'isolation de la dalle de sol, seule la solution consistant à isoler sur la dalle est envisagée, étant donné l'absence d'espace en sous-sol.

Pour la toiture plate, on envisage une isolation par l'extérieur uniquement, cette solution étant de

loin la plus aisée pour ce type de structure. On conserve donc l'étanchéité existante, qui joue alors le rôle de pare-vapeur, et on vient placer un nouvel isolant et une nouvelle étanchéité par-dessus (toiture chaude).

Les différentes variantes appliquées pour le petit bâtiment de bureaux de référence sont reprises ci-dessous :

CAS	Groupe de mesures / variantes				
	Enveloppe				
	parois transparentes	toiture	parois opaques	sol	Infiltration
0					12
1	F2012				9.34
2	F2014				9.34
3	F3				9.34
4		Utoit 2012			11.63
5		Utoit 2014			11.63
6		Utoit 3			11.63
7	F2012	Utoit 2012			8.97
8	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 int		8.58
9	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 int	Usol 2012 int	8.21
10	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 ext		8.58
11	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 ext	Usol 2012 int	8.21
12	F2014	Utoit 2014			8.97
13	F2014	Utoit 2014	Umur 2012 int		8.58
14	F2014	Utoit 2014	Umur 2012 ext		8.58
15	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 int		8.58
16	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 int	Usol 2014 int	8.21
17	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 ext		8.58
18	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 ext	Usol 2014 int	8.21
19	F3	Utoit 3			8.97
20	F3	Utoit 3	Umur 3 int		8.58
21	F3	Utoit 3	Umur 3 ext		8.58
22	F3	Utoit 3	Umur 3 int	Usol 3 int dalle	8.21
23	F3	Utoit 3	Umur 3 ext	Usol 3 int dalle	8.21
24	Fpas	Utoit pas	Umur pas int	Usol pas int	7.27
25	Fpas	Utoit pas	Umur pas ext	Usol pas int	7.27

Tableau 18 - Variantes envisagées pour le petit bâtiment de bureaux existant (PBE2)

Comme le montre le tableau ci-dessus, le remplacement des fenêtres implique une étanchéité améliorée, dont les valeurs sont explicitées dans le paragraphe suivant « Etanchéité à l'air ».

Ce remplacement implique également une exigence au niveau de l'amenée d'air dans les locaux secs, qui est prise en compte dans l'analyse des coûts.

Le système de chauffage installé dans ce bâtiment est une chaudière sans condensation au gaz, affichant un rendement global de 82% à 30% de charge. Cette chaudière assure également le rôle de producteur pour l'humidification. Le refroidissement est assurée par une machine à compression de froid dont le EER est égal à 2. Le bâtiment est pourvu d'une évacuation mécanique de l'air dans les locaux humides.

2.3.2 GRAND BÂTIMENT DE BUREAUX EXISTANT (GBE2) : IMMEUBLE DE 7 ÉTAGES, AVANT 1945

Le grand immeuble de bureaux est un bâtiment assez compact, comportant 7 étages et mitoyen sur ses deux façades latérales. On considère qu'il est situé en agglomération, dans une zone non résidentielle où d'autres entreprises sont également présentes.

Les façades de ce bâtiment de bureaux sont constituées de murs de briques pleins. Il est mitoyen sur deux côtés, et sa dalle de plancher est en contact avec un parking, situé au rez-de-chaussée. Leur isolation est envisagée tant par l'intérieur que par l'extérieur, avec la même remarque que pour le PBE2.

Les fenêtres existantes sont composées de simple vitrage dont le facteur solaire est de 0.75.

L'isolation de la dalle est envisagée tant de l'intérieur (sur dalle) que de l'extérieur (plafond du parking).

L'isolation de la toiture plate se fait via l'extérieur. Comme c'était déjà le cas pour le petit bâtiment de bureaux, on conserve donc l'étanchéité existante, qui joue alors le rôle de pare-vapeur, et on vient placer un nouvel isolant et une nouvelle étanchéité par-dessus (toiture chaude).

La même remarque que pour PBE2 s'applique aux mesures incluant le remplacement des fenêtres.

Les différentes variantes appliquées pour le petit bâtiment de bureaux de référence sont reprises ci-dessous :

CAS	Groupe de mesures / variantes				
	Enveloppe				
	parois transparentes	toiture	parois opaques	sol	Infiltration
0					12.00
1	F2012				8.17
2	F2014				8.17
3	F3				8.17
4		Utoit 2012			11.74
5		Utoit 2014			11.74
6		Utoit 3			11.74
7	F2012	Utoit 2012			7.91
8	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 int		7.45
9	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 int	Usol 2012 ext	7.19
10	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 int	Usol 2012 int	7.19
11	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 ext		7.45
12	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 ext	Usol 2012 ext	7.19
13	F2012	Utoit 2012	Umur 2012 ext	Usol 2012 int	7.19
14	F2014	Utoit 2014			7.91
15	F2014	Utoit 2014	Umur 2012 int		7.45
16	F2014	Utoit 2014	Umur 2012 ext		7.45
17	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 int		7.45
18	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 int	S2014 cave	7.19
19	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 int	S2014 dalle	7.19
20	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 ext		7.45
21	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 ext	S2014 cave	7.19
22	F2014	Utoit 2014	Umur 2014 ext	S2014 dalle	7.19
23	F3	Utoit 3			7.91
24	F3	Utoit 3	Umur 3 int		7.45
25	F3	Utoit 3	Umur 3 ext		7.45
26	F3	Utoit 3	Umur 3 int	S3 dalle	7.19
27	F3	Utoit 3	Umur 3 ext	S3 cave	7.19
28	Fpas	Utoit pas	Umur pas int	Spas dalle	6.35
29	Fpas	Utoit pas	Umur pas ext	Spas cave	6.35

Tableau 19 - Variantes envisagées pour le grand bâtiment de bureaux existant (GBE2)

Le remplacement des fenêtres fait l'objet des mêmes remarques que celles formulées pour le PBE2. Le système de chauffage installé dans ce bâtiment est une chaudière sans condensation au gaz, affichant un rendement global de 82% à 30% de charge. Le refroidissement est assurée par une machine à compression de froid dont le EER est égal à 2. Le bâtiment est pourvu d'une évacuation mécanique des locaux humides.

2.4 HYPOTHÈSES DE SIMULATION PEB ET CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES DES IMMEUBLES DE BUREAUX EXISTANTS

2.4.1 NŒUDS CONSTRUCTIFS

Le calcul des nœuds constructifs n'est pas d'application lors de la rénovation simple d'un bâtiment dans la réglementation PEB.

2.4.2 ETANCHÉITÉ À L'AIR

Aucune valeur de référence n'ayant été trouvée dans la littérature pour les bâtiments de bureaux et services existants, il a été décidé d'utiliser la valeur par défaut de la PEB, à savoir 12 m³/h.m². Cette valeur est donc la valeur de référence prise en compte dans le cas des deux bâtiments de bureaux et services existants de référence. A titre indicatif, elle correspond à un taux de renouvellement d'air de 3.85 vol/h et 2.05 vol/h (PBE2 et GBE2).

Comme explicité dans la partie consacrée aux bâtiments résidentiels, le fait de remplacer les fenêtres ou d'isoler les parois opaques modifie l'étanchéité à l'air du bâtiment. Le débit d'infiltration/exfiltration diminue donc en fonction des différentes mesures appliquées, comme indiqué dans le tableau suivant :

Débit de fuite (m ³ /h.m ²)	PBE2 (petit bâtiment 4 façades)	GBE2 (grand bâtiment 2 façades)
Situation existante – Immeuble de référence	12	12
Remplacement des fenêtres	9.34	8.17
Remplacement des fenêtres et isolation du toit	11.63	11.74
Remplacement des fenêtres, isolation du toit et des murs	8.97	7.91
Remplacement des fenêtres, isolation du toit, des murs et du sol	8.58	7.45
Remplacement des fenêtres, isolation du toit, des murs et du sol - PASSIF	8.21	7.19

Tableau 20 – Etanchéité à l'air des immeubles de bureaux existants

La méthodologie utilisée est commune à celle appliquée aux bâtiments résidentiels. L'explication détaillée se trouve dans la partie consacrée au résidentiel, paragraphe 2.4.2. Les calculs détaillés de ces valeurs d'étanchéité à l'air sont données dans l'Annexe D.

2.4.3 INERTIE

L'inertie considérée dans les bâtiments existants est celle utilisée par défaut dans la PEB, quelle que soit la simulation. Cette valeur correspond à 55 kJ/(m²K).

2.4.4 OMBRAGE

Les valeurs par défaut implémentées dans la PEB sont utilisées dans l'ensemble des simulations effectuées pour les immeubles de bureaux et services existants.

2.4.5 PROTECTIONS SOLAIRES

Dans les bâtiments existants, aucune protection solaire n'a été considérée.

2.4.6 VENTILATION

Un système de ventilation constitué d'une alimentation naturelle et d'une extraction mécanique est considéré dans les deux immeubles de bureaux existants.

Le tableau suivant reprend les caractéristiques inhérentes à la ventilation, encodées pour les deux bâtiments de bureaux existants.

Ventilation : alimentation naturelle, extraction mécanique	
Type de régulation	Régulation horaire, IDA-C3
Puissance spécifique des ventilateurs	Entre 750 et 1250 W.s/m ³ (SFP 3)
Type de calcul énergie auxiliaires	PAR DEF AUT

Tableau 21 – Caractéristiques des systèmes de ventilation pour les bâtiments de bureaux de référence

2.4.7 CHAUFFAGE ET REFROIDISSEMENT

Les deux bâtiments de référence pour l'existant sont chauffés par le biais d'une chaudière à condensation au gaz. En effet, le gaz est très souvent disponible en milieu urbain et industriel et est en général préféré au mazout lorsqu'il y a le choix.

En ce qui concerne le système de refroidissement actif, les deux immeubles sont équipés d'une machine frigorifique à compression de froid.

Les caractéristiques de ces deux systèmes sont reprises dans le tableau ci-dessous.

	Chauffage	Refroidissement
Type de producteur	CNC gaz	Machine électrique à compression de froid
Rendement à 30% de charge	82%	N.A.
EER test	N.A.	2
Hors du volume protégé	Oui	N.A.
T° de retour à 30% de charge	N.A.	N.A.
chaudière maintenue en t°	Oui	N.A.
valeur par défaut pour la T° de retour	N.A.	N.A.

Auxiliaires circulateurs	Calcul	par défaut
	75% des moteurs équipés d'un régulateur	
Transport de chaleur/froid	Par eau ou air et eau (PBE2 ou GBE2)	Eau ou air et eau selon le cas (PBE2 ou GBE2)
Régulation par local	Oui	N.A.
Plusieurs systèmes de production	Non	Non

Dans le cas du petit bâtiment de bureaux, ces valeurs correspondent aux performances des systèmes installés dans les années 90. Pour le grand bâtiment de bureaux, nous avons considéré que les systèmes datant de la période de construction du bâtiment n'ont vraisemblablement pas été conservés. Nous faisons l'hypothèse qu'une première amélioration de base a été effectuée au niveau des systèmes, soit le remplacement de la chaudière par une unité plus performante ($\eta_{30}=82\%$) et l'installation d'un groupe de refroidissement (EER=2.0) dans les secteurs énergétiques le nécessitant.

2.4.8 ECLAIRAGE

Dans les bâtiments tertiaires, on privilégie en général l'encodage détaillé des luminaires (puissance, caractéristiques optiques et flux lumineux), car les valeurs considérées par défaut dans le PEB pour ce poste sont particulièrement défavorables (20 W/m²).

Néanmoins, pour les bâtiments de bureaux existants, les caractéristiques d'éclairage d'une époque antérieure n'étant pas évidentes à se procurer, il a été décidé de ne pas encoder la totalité de ces paramètres. Seule la puissance totale des luminaires par espace est donc encodée, sur base de valeurs relevées lors d'inspections effectuées par 3E en 2011 et 2012 dans des bâtiments publics fédéraux, dans le cadre d'une mission pour FEDESCO.

Pour toutes les zones de travail (bureaux, salles de réunions,..) une valeur de 17 W/m² a été considérée. Dans environ 20% des bâtiments de bureaux visités, cette valeur était de 20 W/m²; dans les 80% de bureaux restant, 15 W/m². La valeur choisie est donc réaliste.

Pour les autres zones (circulation, sanitaires, espaces techniques,...) qui nécessitent un éclairage plus faible, la valeur de 6 W/m², correspondant à ce qui a été relevé le plus souvent lors des visites, a été utilisée.

Cela correspond à une puissance moyenne surfacique de :

- PBE2 : 12.92 W/m²
- GBE2 : 13.75 W/m²

Aucun détecteur de présence, aucune réduction du flux lumineux en fonction de la lumière naturelle ne sont prévus. C'est pourquoi les luminaires ont été encodés comme un luminaire unique, par espace, avec une puissance correspondant au nombre de W/m² multiplié par la surface d'utilisation. Cette option peut être utilisée dans la mesure où aucun facteur de réduction dû au dimming ou au système de contrôle n'intervient dans le calcul.

3. NOUVEAU BÂTIMENT DE BUREAUX ET SERVICES

L'ensemble des mesures / groupes / variantes étudié pour le nouveau bâtiment de bureaux et services est constitué à partir de modifications des performances de tous les éléments intervenant dans l'évaluation du niveau de performance énergétique « Ew » étant donné que les exigences actuelles portent sur cet indicateur. L'ensemble des surfaces de déperditions, l'étanchéité à l'air, les systèmes de ventilation, de chauffage, les luminaires, les protections solaires et le placement de panneaux solaires photovoltaïques ont été considérés.

3.1. LISTE DES GROUPES DE MESURES ENVISAGÉS

Le nouveau bâtiment de bureaux et services respecte, dans son état initial, les exigences actuelles en matière de performance énergétique. Son niveau Ew est inférieur à 80 et son niveau K est inférieur à 45. Toutes les parois du bâtiment respectent les U max en vigueur en Wallonie depuis le 1er juin 2012.

Les différentes options appliquées à ce bâtiment sont les suivantes :

- Meilleure isolation de l'ensemble des parois ainsi que des vitrages (jusqu'au scénario « passif », avec un critère d'étanchéité de $2 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$), avec impact d'une installation de froid actif ou non.
- Idem point précédent, mais avec système de dimming pour les luminaires
- Idem point précédent, avec protections solaires extérieures manuelles
- Idem point précédent avec différents systèmes de production de chaleur et de froid
- Idem point 3, avec installation photovoltaïque
- Idem point précédent, avec protections solaires automatisées

3.2. MESURES ENVISAGÉES

Le tableau ci-dessous résume les différentes variantes appliquées au nouveau bâtiment de bureaux de référence.

Nouveau bâtiment de bureaux (NB)	Situation de référence	Variante envisagée
Enveloppe	Performances 2012	*Performances 2014 *Performances 3 *Performances passives
Systèmes	Chaudière condensation gaz	*PAC air-eau *PAC sol-eau *cogénération *chaudière biomasse
	Protections solaires intérieures manuelles	*extérieures manuelles *extérieures automatiques
	Machine à compression de froid	* PAC en mode réversible

Vecteur énergétique	*chauffage	Gaz	*électricité *biomasse
	*refroidissement	Electricité	*électricité

Les différentes caractéristiques thermiques des parois sont identiques à celles considérées dans le secteur résidentiel. Pour rappel :

	U2012 (base)	U2014	U3	Upassif				
PAROIS OPAQUES	U (W/m²K)							
Façades	0.32	0.24	0.20	0.15				
Sol	0.35	0.30	0.24	0.15				
Toiture	0.27	0.24	0.20	0.15				
Portes	2.20	2.00	1.50	0.80				
PAROIS TRANSLUCIDES	U (W/m²K), g (-) et T_L (-)							
	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g
Fenêtres	2.2	1.3	1.8	1.1	1.4	0.8	0.8	0.5
	g=0.63 T _L =0.8		g=0.5 T _L =0.71		g=0.38 T _L =0.71		g=0.5 T _L =0.71	

Tableau 22 – Caractéristiques thermiques des parois pour le nouvel immeuble de bureaux et services

Les mesures touchant à la performance thermique de l'enveloppe sont couplées à différents types de systèmes présents dans les bâtiments de bureaux et services.

Les différents systèmes analysés sont les suivants :

- Etanchéité à l'air :
 - o En base, l'étanchéité à l'air vaut 4 m³/h.m²
 - o Deux situations améliorées ont été considérées : 3 et 2 m³/h.m²
- Protections solaires :
 - o En base : protections solaires intérieures manuelles
 - o Alternatives étudiées : protections solaires extérieures manuelles et protections solaires extérieures automatiques
- Système de chauffage :
 - o Initialement, chaudière à condensation au gaz
 - o Différentes alternatives :
 - Pompe à chaleur air-eau
 - Pompe à chaleur sol-eau
 - Chaudière biomasse sans condensation
 - Cogénération gaz couplée à une chaudière au gaz
- Système de refroidissement :
 - o En base : machine à compression de froid
 - o 2 variantes :
 - Utilisation de la pompe à chaleur en mode réversible (le cas échéant)
 - Pas de machine de froid
- Système de contrôle des luminaires :
 - o En base : détecteurs de présence (salles de réunions, bureaux,...)
 - o Alternative considérée : détecteurs de présence et diming en fonction de la disponibilité de l'éclairage naturel
- Panneaux photovoltaïques :

- Absents dans la situation initiale
- Alternative : installation de panneaux sur 30 et 50% de la toiture plate
- Vecteurs énergétiques
 - Gaz naturel
 - Electricité
 - Bois (pellets)

3.3. LISTE DES VARIANTES

Les différentes variantes qui seront appliquées au nouveau bâtiment de bureaux de référence défini au paragraphe « Définition du nouveau bâtiment de référence » sont reprises ci-dessous.

CAS	Groupe de mesures / variantes										
	Enveloppe						Systèmes				
	parois opaques	parois transparentes	toiture	sol	Protections solaires	Infiltration	éclairage	Générateurs de chaleur	Ventilation	Refroidissement	Renouvelable
0	Umur 2012	F2012	Utoit 2012	Usol 2012	IM	E4	Prés	CC	RC	CF	/
1	Umur 2014	F2014	Utoit 2014	Usol 2014	IM	E3	Prés	CC	RC	CF	/
2	Umur 3	F3	Utoit 3	Usol 3	IM	E3	Prés	CC	RC	NoF	/
3	Umur pas	F3	Utoit pas	Usol pas	IM	E2	Prés	CC	RC	NoF	/
4	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	IM	E2	Prés	CC	RC	CF	/
5	Umur 2012	F2012	Utoit 2012	Usol 2012	IM	E4	Dim	CC	RC	CF	/
6	Umur 2014	F2014	Utoit 2014	Usol 2014	IM	E3	Dim	CC	RC	CF	/
7	Umur 3	F3	Utoit 3	Usol 3	IM	E3	Dim	CC	RC	NoF	/
8	Umur pas	F3	Utoit pas	Usol pas	IM	E2	Dim	CC	RC	NoF	/
9	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	IM	E2	Dim	CC	RC	CF	/
10	Umur 2012	F2012	Utoit 2012	Usol 2012	EM	E4	Dim	CC	RC	CF	/
11	Umur 2014	F2014	Utoit 2014	Usol 2014	EM	E3	Dim	CC	RC	CF	/
12	Umur 3	F3	Utoit 3	Usol 3	EM	E3	Dim	CC	RC	NoF	/
13	Umur pas	F3	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	CC	RC	CF	/
14	Umur pas	F3	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	CC	RC	NoF	/
15	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	CC	RC	CF	/
16	Umur 2012	F2012	Utoit 2012	Usol 2012	EM	E4	Dim	PAE	RC	PAE	/
17	Umur 2014	F2014	Utoit 2014	Usol 2014	EM	E3	Dim	PAE	RC	PAE	/
18	Umur 3	F3	Utoit 3	Usol 3	EM	E3	Dim	PAE	RC	NoF	/
19	Umur pas	F3	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	PAE	RC	NoF	/
20	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	PAE	RC	PAE	/
21	Umur 2012	F2012	Utoit 2012	Usol 2012	EM	E4	Dim	PSE	RC	PSE	/
22	Umur 2014	F2014	Utoit 2014	Usol 2014	EM	E3	Dim	PSE	RC	PSE	/
23	Umur 3	F3	Utoit 3	Usol 3	EM	E3	Dim	PSE	RC	NoF	/
24	Umur pas	F3	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	PSE	RC	NoF	/
25	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	PSE	RC	PSE	/
26	Umur 2012	F2012	Utoit 2012	Usol 2012	EM	E4	Dim	COG+CC	RC	CF	/
27	Umur 2014	F2014	Utoit 2014	Usol 2014	EM	E3	Dim	COG+CC	RC	CF	/
31	Umur 2012	F2012	Utoit 2012	Usol 2012	EM	E4	Dim	BIOM	RC	CF	/
32	Umur 2014	F2014	Utoit 2014	Usol 2014	EM	E3	Dim	BIOM	RC	CF	/
33	Umur 3	F3	Utoit 3	Usol 3	EM	E3	Dim	BIOM	RC	NoF	/
34	Umur pas	F3	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	BIOM	RC	NoF	/
35	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	BIOM	RC	CF	/

36	Umur 2012	F2012	Utoit 2012	Usol 2012	EM	E4	Dim	CC	RC	CF	PV30
37	Umur 2014	F2014	Utoit 2014	Usol 2014	EM	E3	Dim	CC	RC	CF	PV30
38	Umur 3	F3	Utoit 3	Usol 3	EM	E3	Dim	CC	RC	NoF	PV30
39	Umur pas	F3	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	CC	RC	NoF	PV30
40	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	CC	RC	CF	PV30
41	Umur 2012	F2012	Utoit 2012	Usol 2012	EM	E4	Dim	CC	RC	CF	PV50
42	Umur 2014	F2014	Utoit 2014	Usol 2014	EM	E3	Dim	CC	RC	CF	PV50
43	Umur 3	F3	Utoit 3	Usol 3	EM	E3	Dim	CC	RC	NoF	PV50
44	Umur pas	F3	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	CC	RC	NoF	PV50
45	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EM	E2	Dim	CC	RC	CF	PV50
46	Umur 2012	F2012	Utoit 2012	Usol 2012	EA	E4	Dim	CC	RC	CF	PV30
47	Umur 2014	F2014	Utoit 2014	Usol 2014	EA	E3	Dim	CC	RC	CF	PV30
48	Umur 3	F3	Utoit 3	Usol 3	EA	E3	Dim	CC	RC	NoF	PV30
49	Umur pas	F3	Utoit pas	Usol pas	EA	E2	Dim	CC	RC	NoF	PV30
50	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EA	E2	Dim	CC	RC	CF	PV30
51	Umur 2012	F2012	Utoit 2012	Usol 2012	EA	E4	Dim	CC	RC	CF	PV50
52	Umur 2014	F2014	Utoit 2014	Usol 2014	EA	E3	Dim	CC	RC	CF	PV50
53	Umur 3	F3	Utoit 3	Usol 3	EA	E3	Dim	CC	RC	NoF	PV50
54	Umur pas	F3	Utoit pas	Usol pas	EA	E2	Dim	CC	RC	NoF	PV50
55	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EA	E2	Dim	CC	RC	CF	PV50
56	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EA	E2	Dim	PAE	RC	PAE	PV50
57	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EA	E2	Dim	PSE	RC	PSE	PV50
59	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EA	E2	Dim	BIOM	RC	CF	PV50
60	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EA	E2	Dim	PAE	RC	NoF	PV50
61	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EA	E2	Dim	PSE	RC	NoF	PV50
63	Umur pas	Fpas	Utoit pas	Usol pas	EA	E2	Dim	BIOM	RC	NoF	PV50

Tableau 23 - Variantes étudiées pour le nouveau bâtiment de bureaux de référence (NB)

La simulation 0 correspond au bâtiment de référence dans son état initial.

3.4. HYPOTHÈSES DE SIMULATION PEB ET CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES

3.4.1 NŒUDS CONSTRUCTIFS

De façon similaire à ce qui a été effectué dans les bâtiments résidentiels unifamiliaux, pour le bâtiment de bureaux neuf, les nœuds constructifs ont été considérés comme conformes aux exigences PEB, le travail nécessaire pour les calculer tous étant trop important. Le niveau K sera donc augmenté de 3 points, ce qui correspond à une situation intermédiaire, ni trop favorable ni trop défavorable.

3.4.2 ETANCHÉITÉ À L'AIR

Pour le bâtiment neuf, le débit de fuite surfacique varie entre 4 et 2 m³/h.m². La première valeur est une valeur facilement atteignable en construction neuve, la seconde également si l'on prend en compte cette problématique dès le début du chantier.

3.4.3 INERTIE

L'inertie considérée dans le nouveau bâtiment de bureaux est celle utilisée par défaut dans la PEB, et ce, quelle que soit la simulation. Cette valeur correspond à 55 kJ/(m²K).

3.4.4 OMBRAGE

Comme c'était déjà le cas pour les bâtiments de bureaux existants, les valeurs par défaut implémentées dans la PEB sont utilisées dans l'ensemble des simulations effectuées pour le nouvel immeuble de bureaux et services.

Par contre, en ce qui concerne les panneaux photovoltaïques, aucune valeur par défaut n'est

possible ; aucun ombrage sur les panneaux solaires n'est considéré (tous les angles décrivant l'ombrage = 0° ; cette valeur est possible puisque le bâtiment est libre sur ses 4 façades, et étant donné que l'on ne couvre au maximum que 50% de la toiture plate, on peut considérer que l'étude préalable à l'installation sera effectuée de manière à placer tous les panneaux de manière optimale).

3.4.5 PROTECTIONS SOLAIRES

Dans le nouveau bâtiment, une **protection solaire intérieure manuelle** est considérée dans le cas de base. Des variantes consistant en des protections solaires extérieures manuelles et des protections solaires extérieures automatiques sont simulées pour les cas améliorés.

3.4.6 VENTILATION

Un système de ventilation constitué d'une alimentation et d'une extraction mécaniques couplée à une récupération de chaleur est considéré en base dans le nouveau bâtiment de bureaux et services.

Le tableau suivant reprend les caractéristiques inhérentes à la ventilation encodées pour ce bâtiment.

Ventilation : alimentation naturelle, extraction mécanique, récupération de chaleur	
Type de régulation	Régulation horaire, IDA-C3
Puissance spécifique des ventilateurs	Entre 750 et 1250 W.s/m ³ (SFP 3)
Type de calcul énergie auxiliaires	Détaillé
	Régulation à vitesse de rotation variable
	Puissance nominale = 500 W par ventilateur
	Puissance nominale ventilos-convecteurs variable selon les variantes
Fonctionnement nocturne automatique	NON
Recyclage de l'air de ventilation	NON
Récupérateur de chaleur	OUI
By-pass	OUI
Passage à travers l'échangeur interrompu	OUI
Rendement thermique	80%
Alimentation mécanique	OUI
Mesure continue du débit entrant	OUI
Valeur de consigne du débit pulsé	8075 m ³ /h (détails : annexe D)
Evacuation mécanique	OUI
Mesure continue du débit sortant	OUI
Valeur de consigne du débit extrait	8075 m ³ /h (détails : annexe D)

Tableau 24 – Caractéristiques des systèmes de ventilation pour le nouveau bâtiment de bureaux

3.4.7 CHAUFFAGE ET REFROIDISSEMENT

Le nouveau bâtiment de bureaux est équipé en base d'une chaudière à condensation au gaz (en rouge dans le tableau).

En ce qui concerne le système de refroidissement actif, il est composé d'une machine frigorifique à

compression de froid.

Les caractéristiques de ce système ainsi que des différentes variantes implémentées dans la PEB sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Chauffage					
	CC gaz	CNC biomasse	PAC air-eau	PAC sol-eau	Cogénération gaz+ CC gaz
rendement à 30% de charge (COP test pour les PAC)	107%	92%	310%	430%	Voir caractéristiques tableau suivant
Hors du volume protégé	non	oui			
T° de retour à 30% de charge	30°C				
chaudière maintenue en t°	non	non			
valeur par défaut pour la T° de retour	oui				
veilleuse	non				
Auxiliaire circulateur	Calcul par défaut – 75 % des moteurs équipés d'un régulateur				
Transport de chaleur	Par eau				
Régulation par local	oui				
Plusieurs systèmes de production	non				oui

Refroidissement	
	Machine électrique à compression de froid
EER test	3
Transport de chaleur	Par eau
Auxiliaires circulateurs	Calcul par défaut – 75 % des moteurs équipés d'un régulateur

Tableau 25 – Caractéristiques des systèmes de chauffage et de refroidissement étudiés dans le nouvel immeuble de bureaux

Cogénération		
	CAS 26	CAS 27
Type de générateur	Cogénération sur site	
Type de technologie	Moteur à combustion interne	
Vecteur énergétique	Gaz naturel	
Puissance thermique	13 kW	11 kW
Puissance électrique	6 kW	5 kW
Volume d'eau du ballon	0.316 m ³	0.262 m ³
Ecart de température entre départ et retour	20°C	
Générateur préférentiel	OUI	

Tableau 26 – Caractéristiques de la cogénération gaz couplée avec une chaudière à condensation au gaz

Pour les pompes à chaleur air-eau et sol-eau (sondes géothermiques verticales), les caractéristiques suivantes sont prises en compte :

	PAC sol-eau	PAC air-eau
COP test	4.3	3.1
Emission	Par sol, mur, plafond	Par sol, mur, plafond
T° moyenne mensuelle du fluide caloporteur		40°C
Δt° entre départ et retour du système		10°C
Augmentation de température à travers le condenseur		5°C
Pompe pour l'apport de chaleur vers l'évaporateur	Oui, valeur par défaut pour la puissance électrique	
Pompe pour apporter la chaleur à l'évaporateur	Oui, puissance inconnue	
FPS	2.88	3.35

Tableau 27 – Caractéristiques des pompes à chaleur installées dans le nouvel immeuble de bureaux

N.B : Pour le refroidissement dans le nouveau bâtiment de bureaux, certaines simulations envisagent un cas sans refroidissement actif.

3.4.8 ECLAIRAGE

Pour le nouveau bâtiment de bureaux, l'éclairage considéré en base est un éclairage performant, comme c'est le cas dans la majorité des nouveaux bureaux construits actuellement. Ses caractéristiques sont les suivantes :

	Luminaire
Caractéristiques optiques	.N2=0.98 .N4=1 .N5=0.97
Nombre de lampes par luminaire	1
Efficacité lumineuse (lumen/W)	72

Tableau 28 – Caractéristiques des luminaires considérés dans le nouveau bâtiment de bureaux

La puissance des luminaires varie en fonction de la surface et du niveau de lux requis dans les différentes zones du bâtiment.

Les niveaux de lux suivants sont associés aux différents espaces :

	Eclairage (lux)
Circulation	150
Sanitaires	150
Archives/ data storage	200
Kitchenette/mess	300

Bureaux et salles de réunions	500
-------------------------------	-----

Tableau 29 – Niveaux d'éclairage considéré dans les différents locaux

Le même éclairage est considéré pour les variantes de ce nouveau bâtiment de bureaux, mais le système de commande passe de la détection de présence au dimming.

3.4.9 PANNEAUX PV

Pour des installations photovoltaïques sur des toitures plates, une valeur de 88 Wc de puissance installée par m² de toiture peut être considérée comme une moyenne (voir Annexe E).

La valeur de 88 Wc a été appliquée dans les cas où un système photovoltaïque est installé sur le nouveau bâtiment de bureaux.

Une inclinaison de 15° des panneaux a été considérée, et comme explicité au point ombrage, aucun ombrage n'est considérée sur les panneaux.

Bâtiments destinés à l'enseignement

4. DÉFINITION DES BÂTIMENTS DESTINÉS À L'ENSEIGNEMENT DE RÉFÉRENCE

4.1 DÉFINITION DES BÂTIMENTS DE RÉFÉRENCE EXISTANTS

Les informations concernant les bâtiments destinés à l'enseignement nous proviennent principalement de la cellule technique UREBA, qui œuvre pour l'amélioration énergétique des immeubles du secteur tertiaire dont les écoles, tant en matière de rénovation de l'enveloppe (uniquement axée sur l'isolation thermique) que de l'augmentation de la performance des installations de production de chaleur ou de consommation d'électricité.

La difficulté rencontrée dans la recherche de données sur l'enveloppe et les systèmes pour ce type de bâtiment, est qu'il n'existe pas de répertoire proprement dit pour les cas rencontrés. Ce qui veut dire que chaque bâtiment examiné fait l'objet d'une analyse propre. En fonction des travaux envisagés, est reprise la valeur U initiale de la paroi concernée ainsi que sa valeur après amélioration ainsi que l'impact de cette amélioration sur la consommation (mais ceci ne repose pas sur une méthodologie propre d'encodage d'information). Et vu la quantité de bâtiments scolaires traités à ce jour par la cellule technique UREBA (plus de 1000), il est impossible de répertorier ce type de données. Aussi, l'éventail en matière de taille d'immeubles allant de la petite école de village comprenant 4 classes à l'établissement provincial de plusieurs milliers de mètre carrés, il est impossible de considérer deux cas type censés représenter la majorité des bâtiments scolaires.

4.1.1 DONNÉES POUR LES BÂTIMENTS DESTINÉS À L'ENSEIGNEMENT EXISTANT

Enveloppe

Selon la cellule technique UREBA, le niveau K moyen des bâtiments scolaires existant est de l'ordre de 120 – 130. Les compositions de paroi des bâtiments n'étant pas répertoriées, et vu le nombre de configurations différentes rencontrées pour ce type de bâtiment, il est difficile de déduire des U de parois moyens. Nous allons donc nous baser sur le niveau K moyen et en déduire des U de parois probables selon l'âge du bâtiment. L'étanchéité à l'air des bâtiments est très mauvaise, il est raisonnable de se baser sur les chiffres annoncés dans l'étude des bâtiments résidentiels, on se réfèrera à un bâtiment de même époque.

Systemes

Le chauffage est assuré la plupart du temps par des chaudières mazout (en zone rurale) et gaz là où il est disponible. Aucun système de ventilation n'est présent vu la perméabilité à l'air des immeubles. Aucune donnée n'est disponible concernant l'éclairage, nous nous baserons donc sur la valeur par défaut du logiciel PEB.

Taille des bâtiments

En Communauté française, on recense +/- 800 écoles – 3000 bâtiments – pour une surface totale de 3.200.000 m² (source : <http://www.infrastructures.cfwb.be>). Ce qui donne en moyenne 4000m² par

école et de 1000m² par bâtiment. Cela ne signifie pas que le choix doit se porter sur des bâtiments d'une telle surface, en effet il s'agit d'une moyenne calculée sur un grand nombre de bâtiments très différents.

4.1.2 BÂTIMENTS DE RÉFÉRENCE EXISTANTS DESTINÉS À L'ENSEIGNEMENT

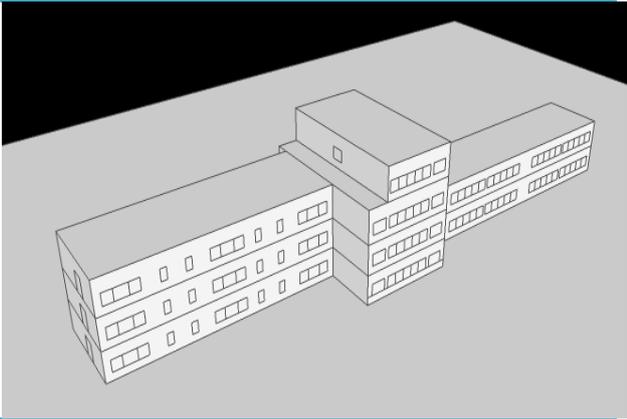
Choix des bâtiments de référence pour les bâtiments destinés à l'enseignement		
Bâtiment	Typologie	Illustration
EE1	Petite école de campagne	
EE2	Grande école de type « athénée »	

Tableau 30 : Choix des bâtiments de référence existant destinés à l'enseignement

4.2.2.1 EE1 Petite école de campagne

Il s'agit d'une école probablement construite au début du XX^{ème} siècle et qui a été agrandie en 1994. L'école est composée de plusieurs bâtiments comme cela est souvent le cas dans ce type de structure scolaire. Les premiers bâtiments construits ne sont pas isolés tandis que l'extension est isolée.

L'école est composée de trois bâtiments principaux reliés par des volumes secondaires à toiture plate. La façade avant, parallèle à la rue, est située au Nord-Ouest. Elle est illustrée par la figure de gauche ci-après de même que la vue de la façade arrière par la figure de droite.

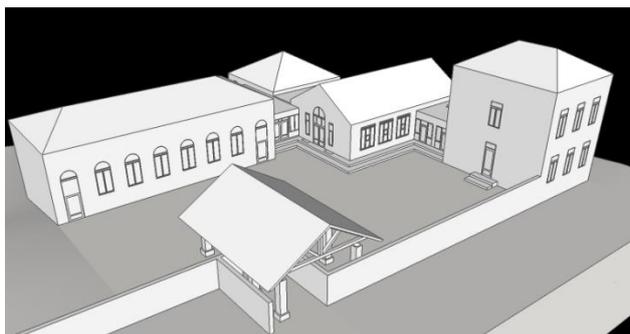


Figure 16 - Vue de la façade avant (NO)

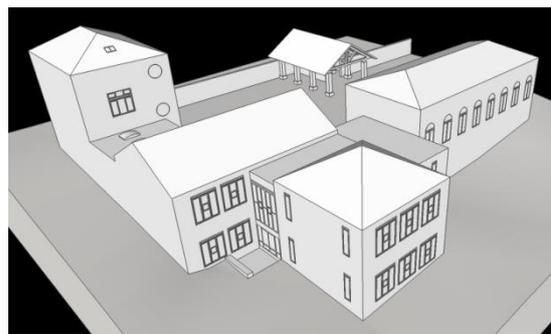


Figure 17 - Vue de la façade arrière (SE)

Dans le but de garantir la compréhension des résultats, les bâtiments sont nommés comme l'indique le schéma suivant :

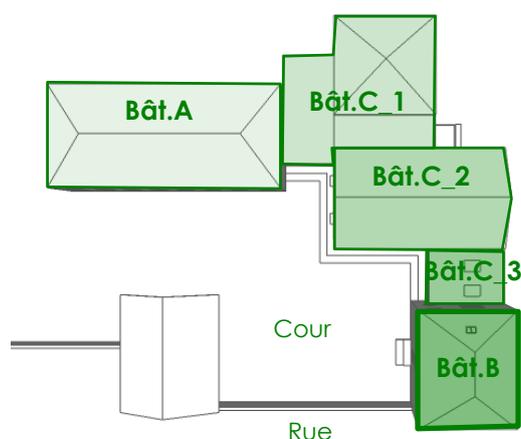


Figure 18 - Dénomination des bâtiments

Le bâtiment A comporte uniquement un niveau surplombé en partie par une mezzanine. Il abrite deux classes, une pour la 3^e et la 4^e année et une pour la 5^e et de 6^e. Des vestiaires, sanitaires ainsi qu'une chaufferie se trouvent de part et d'autres des classes. Le bâtiment B est divisé en trois niveaux. Le sous-sol contient des caves et une chaufferie. Ce sont des espaces adjacents non chauffés (EANC). Le rez-de-chaussée comprend une cuisine, un réfectoire, un hall d'entrée et des sanitaires. L'étage est réservé aux enseignants : local, bureau d'administration, sanitaires et cage d'escalier. Le sous-sol des bâtiments C est divisé en deux zones : une zone contenant des espaces non chauffés (vide ventilé) et une autre zone contenant des espaces chauffés tels qu'une classe polyvalente, deux classes « philosophie » et des réserves ; l'ensemble relié par des couloirs. Le rez-de-chaussée compte les classes de maternelles, des sanitaires, des halls d'entrée donnant accès à chaque partie du bâtiment et une classe réservée aux élèves de 1^{ère} et de 2^e année. Seul le bâtiment C_2 comporte une mezzanine.

Les tableaux ci-dessous reprennent les informations générales et les caractéristiques géométriques de cette école.

INFORMATIONS GÉNÉRALES	
PROGRAMME	Enseignement existant 1 – EE1
IMPLANTATION	Dison
ARCHITECTE (EXTENSION ET RÉNOVATION EN 1994)	J.M. Hauglustaine
ENVELOPPE	SYSTÈME
S _{UT} 1001,56 m ²	CHAUFFAGE Chauffage à eau chaude sans condensation au mazout
VOLUME PROTÉGÉ 3551,91 m ³	EAU CHAUDE SANITAIRE -
COMPACITÉ 1,43 m	VENTILATION Pas de système complet -exigences non respectées
Etanchéité à l'air 14,9 m ³ /h.m ²	
RÉSULTATS PEB	
NIVEAU K: 121	
NIVEAU E: 133 149 311 315	
BNE CHAUFFAGE: 239,4 177,7 220,3 537,3 540,9 kWh/m ² an	

Tableau 31 : Informations générales concernant le bâtiment destiné à l'enseignement (EE1)

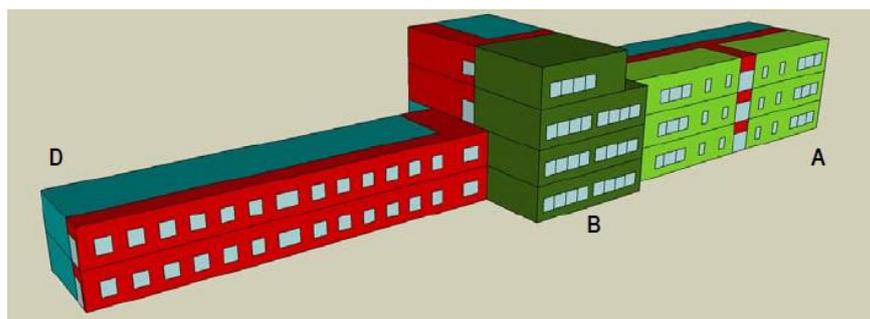
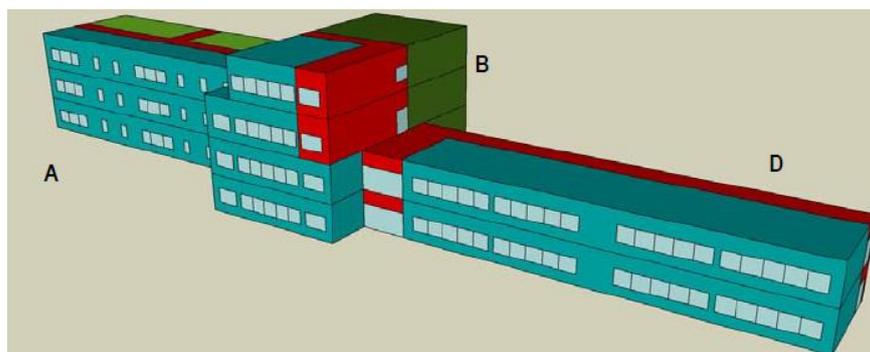
GÉOMÉTRIE				
Type de paroi	Orientation	Matériau	Uparoi [W/m ² K]	Surface
Murs - parties A et B	SE, SO, NE et NO	Maçonnerie pleine (40 cm)	1,92	597,77
Murs - parties C_1, C_2 et C_3	SE, SO, NE et NO	Bloc de béton (19 cm) Laine minérale (4 cm) Coulisse ventilée Brique (9 cm)	0,77	433,04
Fenêtres - parties A et B	SE, NE et NO	Simple vitrage	Vitrage : 5,5	70,23
Fenêtres - parties C_1, C_2 et C_3	SE, SO, NE et NO		Châssis : 4,00	158,39
Toit double pente - parties A et B		Structure bois	2,00	296,11
Plancher grenier – partie C_1		Structure béton + laine minérale (8 cm)	0,21	67,4
Toit plat - parties C_2 et C_3		Structure béton + laine minérale 6 cm	0,49	162,69
Plancher - parties A et B	sur cave	Béton + maçonnerie	0,92	226,63
Plancher - parties C_1, C_2 et C_3	sur sol	Béton lourd EPS (4 cm) Chape Revêtement	0,44	297,65

Tableau 32 : géométrie et composition parois EE1

4.1.2.1 EE2 Grande école de type « athénée »

L'école EE2, tirée de l'étude Epicool, se compose de trois blocs: A, B et D. La façade principale est orientée SE et la façade arrière est orientée NO. Le bâtiment ne possède aucune mitoyenneté.

- Bloc A :
 - o 3 étages
 - o classes sur les deux fronts séparées par un couloir central de 2 m centrale dans le bloc A Est
 - o une cage d'escalier sur la façade N
- Bloc B :
 - o partie centrale de l'école
 - o 4 étages
 - o classes pour le côté SE
 - o espace sanitaire et technique sur le côté NO
- Bloc D
 - o 2 étages
 - o classes sur la façade SE
 - o couloir sur la façade



Le bâtiment est divisé en 4 zones :

- Bleu: classes SE (blocs A, B et D)
- Vert clair: classes NO (bloc A)
- Vert foncé: espace technique et sanitaires (bloc B)
- Rouge: circulation (blocs A, B et D)

La façade avant est orientée SO et la façade arrière NE. Les vues relatives à ces dernières sont données respectivement par les figures de gauche et de droite ci-dessous.

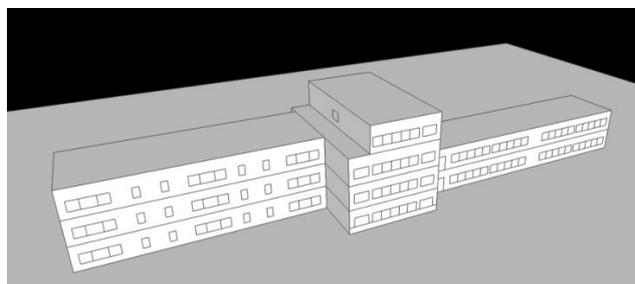


Figure 19 - Vue de la façade avant (SO)

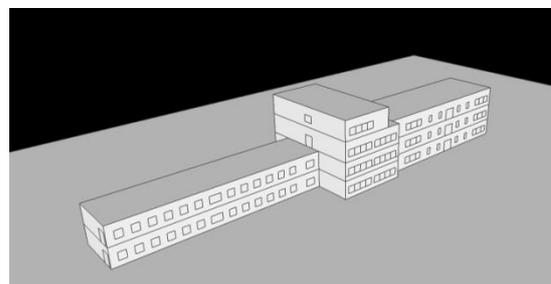


Figure 20 - Vue de la façade arrière (NE)

Les plans se trouvent dans l'annexe E.

Les informations générales et les caractéristiques géométriques du bâtiment sont indiquées dans les deux tableaux suivants.

INFORMATIONS GÉNÉRALES	
PROGRAMME	Enseignement existant 2 – EE2
IMPLANTATION	-
ARCHITECTE	-
ENVELOPPE	SYSTÈME
S _{UT} 3423,33 m ²	CHAUFFAGE Chauffage à eau chaude sans condensation au gaz naturel
VOLUME PROTÉGÉ 13764 m ³	EAU CHAUDE SANITAIRE -
COMPACITÉ 2,69 m	VENTILATION Pas de système complet -exigences non respectées
Etanchéité à l'air 14,1 m ³ /h.m ²	
RÉSULTATS PEB	
NIVEAU K: 107	
NIVEAU E: 194	

Tableau 33 : Informations générales concernant le bâtiment destiné à l'enseignement (EE2)

GÉOMÉTRIE				
Type de paroi	Orientation	Matériau	U _{paroi} [W/m ² K]	Surface
Murs extérieurs	SE, SO, NE et NO	Maçonnerie pleine (14 cm) Coulisse ventilée Brique (9 cm)	1,64	2201,48
Murs - parties C_1, C_2 et C_3	SE, SO, NE et NO	Bloc de béton (19 cm) Laine minérale (4 cm) Coulisse ventilée Brique (9 cm)	0,77	433,04
Fenêtres	NO	Simple vitrage	Vitrage : 5,5 Châssis : 4,00	18
Fenêtres	NE			213,68
Fenêtres	SO			270,15
Fenêtres	SE			18
Toit plat		Structure béton lourd (20 cm)	1,03	1195,39
Plancher	sur sol	Béton	0,72	1195,39

Tableau 34 : géométrie et composition parois EE2

4.2 BÂTIMENT NEUF DE RÉFÉRENCE DESTINÉ À L'ENSEIGNEMENT

4.2.1 DONNÉES POUR BÂTIMENT DESTINÉ À L'ENSEIGNEMENT NEUF

Statistique BDD PEB	Type	Résultat
Moyenne ACH/Unité PEB	Appartements	114
Moyenne ACH/Unité PEB	Maisons	179
Moyenne ACH/Unité PEB	Ecoles (depuis 2010)	523
Moyenne Surface Déperdition/Bâtiment	Appartements	774
Moyenne Surface Déperdition/Bâtiment	Maisons	436
Moyenne Surface Déperdition/Bâtiment	Ecoles (Depuis 2010)	2.413
Moyenne Volume Protégé/Bâtiment	Appartements	699
Moyenne Volume Protégé/Bâtiment	Maisons	601
Moyenne Volume Protégé/Bâtiment	Ecoles (Depuis 2010)	530

Les statistiques tirées de la BDD PEB donne une surface de plancher chauffé par unité PEB école de l'ordre de 520 m². Cependant cette donnée est sans doute faussée par la prise en compte des extensions d'école dont le volume est supérieur à 800m³ (donc considérée comme assimilée à du neuf), ce qui doit réduire considérablement la moyenne de la surface de plancher chauffé des écoles neuves.

Etant donné qu'il est assez complexe de définir un bâtiment de référence type école vu la diversité de ceux-ci, nous nous sommes simplement basé sur un futur projet d'école de taille moyenne à grande (+-3000m² de surface utile) définie par un volume simple. L'école est composée d'un seul bâtiment indépendant. Les compositions de paroi, ainsi que les équipements, ont été paramétrés de manière à se rapprocher au mieux des exigences PEB actuelles.

4.2.2 BÂTIMENT DE RÉFÉRENCE NEUF DESTINÉ À L'ENSEIGNEMENT

Choix du bâtiment de référence pour le bâtiment destiné à l'enseignement		
Bâtiment	Typologie	Illustration
EN	Ecole fondamentale basse énergie	

Tableau 35 : Choix du bâtiment de référence neuf destiné à l'enseignement

La volumétrie du bâtiment scolaire est simple. La façade côté cour est orientée vers le sud-est. Cette dernière est illustrée par la vue de gauche ci-dessous.



Figure 21 - Vue de la façade côté cour



Figure 22 - Vue de la cour (SE)



Figure 23 - Vue de la façade SO

Le niveau R-1 comprend un espace pour les réserves, une cage d'escalier, des locaux techniques (chaufferie, entretien,...) et une cour autour de laquelle se trouvent une zone de lecture, une classe d'accueil, des classes de 1^{er} et de 2^e maternelle et un espace de psychomotricité. Le rez-de-chaussée accueille plusieurs classes de maternelle et de primaire, une cuisine, un réfectoire, des sanitaires et la cage d'escalier. Le second étage comporte des classes de primaires, des espaces réservés au personnel et la cage d'escalier. Les plans se trouvent dans l'annexe F.

INFORMATIONS GÉNÉRALES	
PROGRAMME	Enseignement neuf – EN
IMPLANTATION	-
ARCHITECTE	-
ENVELOPPE	
S_{UT}	2940 m ²
VOLUME PROTÉGÉ	11267 m ³
COMPACTITÉ	2,58 m

Tableau 36 : informations générales EN

GÉOMÉTRIE			
Type de paroi	Orientation	Matériau	Surface
Murs extérieurs	NO, SO, SE et NE	Bloc de béton Isolant Crépis	1056,7
Murs extérieurs		Maçonnerie pleine Isolant Crépis	112
Fenêtres	NORD-OUEST		281,4
Fenêtres	SUD-OUEST		46,7
Fenêtres	SUD-EST		284
Fenêtres	NORD-EST		43,3
Toit plat + pente		Structure béton + isolant	1282,8
Plancher	contre sol	Béton + isolant	1261,9

Tableau 37 : géométrie et composition parois EN

5. BÂTIMENTS DESTINÉS À L'ENSEIGNEMENT EXISTANTS

Pour répondre à l'article 2 du Règlement délégué (UE) n°244/2012 de la Commission du 16 janvier 2012, une méthodologie similaire à celle évoquée dans le secteur résidentiel (habitations) est mise en place. Il s'agit d'introduire un ensemble de mesures/groupes/variantes conduisant à de multiples modifications des différentes parois de l'enveloppe. Cet ensemble est divisé en quatre catégories :

- La première répond aux mesures à prendre pour respecter les exigences minimales actuelles (2012) sur la performance énergétique des éléments en Région wallonne (U_{\max}). Dans certains cas, la prime de base est obtenue.
- La deuxième concerne les mesures à envisager dans le but d'obtenir une valeur U inférieure aux U_{\max} applicables à partir du 1^{er} janvier 2014. Une prime supérieure peut être éventuellement accordée.
- La troisième se rapporte aux mesures à pratiquer afin d'atteindre des valeurs U comprises entre celles recommandées dans la deuxième et dans la quatrième catégorie. Ces valeurs sont généralement accompagnées d'une prime supérieure.
- La dernière catégorie comprend les variantes nécessaires pour parvenir aux recommandations associées au standard passif.

5.1 CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DES QUATRE SCÉNARIIS ÉTUDIÉS

Les caractéristiques thermiques des parois, identiques à celles considérées pour les bâtiments résidentiels et de bureaux, sont données dans le tableau ci-dessous.

	U2012 (base)		U2014		U3		Upassif	
PAROIS OPAQUES	U (W/m²K)							
façades	0.32		0.24		0.20		0.15	
sol	0.35		0.30		0.24		0.15	
toiture	0.27		0.24		0.20		0.15	
portes	2.20		2.00		1.50		0.80	
PAROIS TRANSLUCIDES	U (W/m²K), g (-) et T_L (-)							
	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g
fenêtres	2.2	1.3	1.8	1.1	1.4	0.8	0.8	0.5
	g=0.63 T _L =0.8		g=0.5 T _L =0.71		g=0.38 T _L =0.71		g=0.5 T _L =0.71	

Tableau 38 : Caractéristiques thermiques des parois pour les bâtiments destinés à l'enseignement existants

5.2 LISTE DES GROUPES DE MESURES ENVISAGÉS

Les groupes de mesures envisagés sont les suivant :

- Remplacement du vitrage seul : V ;
- Isolation du toit seul : U_{toit} ;
- Remplacement du vitrage et isolation du toit : $V + U_{\text{toit}}$;
- Remplacement du châssis (donc des fenêtres) et isolation du toit : $F + U_{\text{toit}}$;
- Remplacement des fenêtres, isolation du toit et des parois opaques : $F + U_{\text{toit}} + U_{\text{mur}}$;
- Remplacement des fenêtres, isolation du toit, des parois opaques et du sol : $F + U_{\text{toit}} + U_{\text{mur}} + U_{\text{sol}}$.

Toutes les combinaisons ne sont pas envisageables, certaines ne sont donc pas possible. Elles sont fonctions de la situation existante du bâtiment.

5.3 LISTE DES VARIANTES

5.4.1 PETITE ÉCOLE DE CAMPAGNE – EE1

L'école, située à la campagne, est divisée en plusieurs bâtiments adjacents dont deux ont été construits au début du XXème siècle (parties A et B) et les extensions en 1994 (parties C_1, C_2 et C_3).

Les façades des parties A et B sont constituées de murs en maçonnerie pleine contrairement aux façades des parties C_1, C_2 et C_3. Ces dernières sont composées de murs type creux dont la composition est la suivante : bloc porteur de 19cm, isolant 4 cm, coulisse ventilée et parement en brique. Toutes les façades sont libres ; elles ne sont pas mitoyennes à un bâtiment adjacent.

Les fenêtres existantes sont composées de simple vitrage dont leur facteur solaire vaut 0.75.

L'isolation des parois opaques des bâtiments existants s'effectuera :

- soit par l'intérieur ;
- soit par l'extérieur. Ces bâtiments présentent des caves ; le plancher du niveau 0 sera donc isolé par l'extérieur (noté $R_{\text{sol-ext}}$).

Construites des années plus tard, les extensions (désignées par la lettre « E » dans le tableau ci-dessous) sont isolées contrairement aux parties existantes. Toutefois, des mesures doivent être prises afin de répondre aux exigences minimales en terme de performance énergétique des bâtiments. Elles sont introduites après celles relatives aux bâtiments principaux car il est plus judicieux de traiter ces derniers (moins performants) en premier lieu. Les murs extérieurs, de type creux, sont isolés par l'intérieur.

Les parties A et B du bâtiment présentent des caves ; le plancher du niveau 0 sera donc isolé par la cave (c'est-à-dire par l'extérieur, noté $U_{\text{sol-ext}}$).

Par contre, pour la partie C, le plancher du niveau 0 étant en contact avec le sol, l'ajout d'isolation sera envisagé respectivement sur sol (par l'intérieur). Cette mesure est notée $U_{\text{sol-int}}|_E$ dans le tableau ci-après.

L'isolation de la toiture en pente des parties A et B est réalisée par l'intérieur entre la structure en bois tandis que l'isolation des parties C, suivant le type de toiture, est effectuée par l'intérieur, par l'extérieur ou au niveau du plancher du grenier

Les variantes étudiées pour la petite école de campagne sont reprises ci-dessous :

Ca s	Groupes de mesures / variantes								Infiltration [m ³ /h.m ²]
	Enveloppe								
	Bâtiment principal (parties A et B)				Extensions (parties C)				
V	Toiture	Parois opaques	Sols	V _A	Toiture	Parois opaques	Sols		
1	V ₂₀₁₂	-	-	-	-	-	-	-	14,9
2	V ₂₀₁₄	-	-	-	-	-	-	-	14,9
3	V ₃	-	-	-	-	-	-	-	14,9
4	F ₂₀₁₂	-	-	-	-	-	-	-	13,68
5	F ₂₀₁₄	-	-	-	-	-	-	-	13,68
6	F ₃	-	-	-	-	-	-	-	13,68
7	-	U _{toit2012}	-	-	-	-	-	-	14,38
8	-	U _{toit2014}	-	-	-	-	-	-	14,38
9	V ₂₀₁₂	U _{toit2012}	-	-	-	-	-	-	14,38
10	V ₂₀₁₄	U _{toit2012}	-	-	-	-	-	-	14,38
11	V ₃	U _{toit2012}	-	-	-	-	-	-	14,38
12	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	-	-	-	-	-	-	13,16
13	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	-	-	-	-	-	12,38
14	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	-	-	-	-	11,99
15	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V _{2012E}	-	-	-	11,99
16	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V _{2014E}	-	-	-	11,99
17	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V _{3E}	-	-	-	11,99
18	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	-	U _{toit2012} E	-	-	11,99
19	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	-	U _{toit2014} E	-	-	11,99
20	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V _{2012E}	U _{toit2012} E	-	-	11,99
21	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V _{2014E}	U _{toit2012} E	-	-	11,99
22	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	V _{3E}	U _{toit2012} E	-	-	11,99
23	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	F _{2012E}	U _{toit2012} E	-	-	11,99
24	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	F _{2012E}	U _{toit2012} E	U _{mur2012-int} E	-	11,99
25	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-ext}	U _{sol2012-ext}	F _{2012E}	U _{toit2012} E	U _{mur2012-int} E	U _{sol2012-ext/int} E	11,99
26	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	-	-	-	-	-	-	13,16
27	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2012-ext}	-	-	-	-	-	12,38
28	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	-	-	-	-	-	12,38
29	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	U _{sol2014-ext}	-	-	-	-	11,99
30	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	U _{sol2014-ext}	-	U _{toit2014} E	-	-	11,99
31	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	U _{sol2014-ext}	F _{2014E}	U _{toit2014} E	-	-	11,99
32	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	U _{sol2014-ext}	F _{2014E}	U _{toit2014} E	U _{mur2014-int} E	-	11,99
33	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-ext}	U _{sol2014-ext}	F _{2014E}	U _{toit2014} E	U _{mur2014-int} E	U _{sol2014-ext/int} E	11,99
34	F _{pas}	U _{toit-pas}	U _{mur-pas-ext}	U _{sol-pas-ext}	F _{pas} E	U _{toit-pas} E	U _{mur-pas-int} E	U _{sol-pas-ext/int} E	10,85
35	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	-	-	-	-	-	12,38
36	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	-	-	-	-	11,99
37	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	V _{2012E}	-	-	-	11,99
38	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	V _{2014E}	-	-	-	11,99
39	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	V _{3E}	-	-	-	11,99

40	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	-	U _{toit2012} E	-	-	11,99
41	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	-	U _{toit2014} E	-	-	11,99
42	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	V _{2012E}	U _{toit2012} E	-	-	11,99
43	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	V _{2014E}	U _{toit2012} E	-	-	11,99
44	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	V _{3E}	U _{toit2012} E	-	-	11,99
45	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	F _{2012E}	U _{toit2012} E	-	-	11,99
46	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	F _{2012E}	U _{toit2012} E	U _{mur2012-int} E	-	11,99
47	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-ext}	F _{2012E}	U _{toit2012} E	U _{mur2012-int} E	U _{sol2012-ext/int} E	11,99
48	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2012-int}	-	-	-	-	-	12,38
49	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-int}	-	-	-	-	-	12,38
50	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-int}	U _{sol2014-ext}	-	-	-	-	11,99
51	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-int}	U _{sol2014-ext}	-	U _{toit2014} E	-	-	11,99
52	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-int}	U _{sol2014-ext}	F _{2014E}	U _{toit2014} E	-	-	11,99
53	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-int}	U _{sol2014-ext}	F _{2014E}	U _{toit2014} E	U _{mur2014-int} E	-	11,99
54	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-int}	U _{sol2014-ext}	F _{2014E}	U _{toit2014} E	U _{mur2014-int} E	U _{sol2014-ext/int} E	11,99
55	F _{pas}	U _{toit-pas}	U _{mur-pas-int}	U _{sol-pas-ext}	F _{pas} E	U _{toit-pas} E	U _{mur-pas-int} E	U _{sol-pas-ext/int} E	10,85
56	F _{pas}	U _{toit-pas}	U _{mur-pas-ext/int}	U _{sol-pas-ext}	F _{pas} A	U _{toit-pas} A	U _{mur-pas-int} A	U _{sol-pas-ext} A	10,85

Tableau 39 : ensemble des variantes étudiées pour la petite école de campagne (EE1)

Le système de chauffage installé une chaudière non à condensation au mazout avec un rendement de 75%. Le bâtiment est pourvu d'un système de ventilation de type 'A' non complet.

5.4.2 GRANDE ÉCOLE DE TYPE « ATHÉNÉE » – EE2

Les parois opaques de l'enveloppe sont de type murs creux non isolés. L'isolation est ajoutée soit au niveau de la coulisse, soit du côté intérieur du mur. L'isolation de la coulisse n'est cependant pas retenue car une fois la coulisse isolée, le U de la paroi s'élève à 0,92, valeur nettement supérieure à la limite U_{max} 0,32 de la réglementation actuelle. Le sol n'est pas en contact avec un vide ventilé ou une cave ; il sera donc isolé par l'intérieur.

L'école est un bâtiment étendu de forme rectangulaire qui se compose de trois blocs. Il compte deux à quatre niveaux et des façades uniquement libres.

Ces murs extérieurs sont composés d'une couche en maçonnerie pleine, d'une coulisse ventilée et d'un parement en brique. La dalle de plancher est située contre sol.

Les fenêtres existantes sont constituées de simple vitrage dont le facteur solaire est de 0.75.

La toiture plate existante est composée d'une structure en béton ; elle est donc isolée par l'extérieur pour créer une toiture chaude. En ce qui concerne la dalle sur sol, l'isolation est ajoutée sur cette dernière, donc par l'intérieur.

Pour récapituler, les variantes de ce bâtiment d'enseignement sont :

Cas	Groupes de mesures / variantes				
	Enveloppe				
	Parois transparentes	Toitures	Parois opaques	Sols	Infiltration [m ³ /h.m ²]
1	V ₂₀₁₂	-	-	-	14,10
2	V ₂₀₁₄	-	-	-	14,10
3	V ₃	-	-	-	14,10
4	F ₂₀₁₂	-	-	-	12,56
5	F ₂₀₁₄	-	-	-	12,56
6	F ₃	-	-	-	12,56
7	-	U _{toit2012}	-	-	13,70
8	-	U _{toit2014}	-	-	13,70
9	V ₂₀₁₂	U _{toit2012}	-	-	13,70
10	V ₂₀₁₄	U _{toit2012}	-	-	13,70
11	V ₃	U _{toit2012}	-	-	13,70
12	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	-	-	12,16
13	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	-	11,42
14	F ₂₀₁₂	U _{toit2012}	U _{mur2012-int}	U _{sol2012-int}	11,02
15	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	-	-	12,16
16	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2012-int}	-	11,42
17	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-int}	-	11,42
18	F ₂₀₁₄	U _{toit2014}	U _{mur2014-int}	U _{sol2014-int}	11,02
19	F ₃	U _{toit3}	-	-	12,16
20	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-int}	-	11,42
21	F ₃	U _{toit3}	U _{mur3-int}	U _{sol3-int}	11,02
22	F _{pas}	U _{toit-pas}	U _{mur-pas-int}	U _{sol-pas-int}	9,94

Tableau 40 : ensemble des variantes étudiées pour la grande école de type « athénée » (EE2)

Une chaudière sans condensation au gaz dont le rendement à 30% de charge est de 82% est installée dans cette école. Le système de ventilation installé est un système de ventilation naturelle mais ce système de type A n'est pas complet.

5.4 HYPOTHÈSES DE SIMULATION PEB ET CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES DES IMMEUBLES DE BUREAUX EXISTANTS

5.4.1 NŒUDS CONSTRUCTIFS

Le calcul des nœuds constructifs n'est pas considéré pour la rénovation d'un bâtiment existant.

5.4.2 ETANCHÉITÉ À L'AIR

Aucune valeur n'a été trouvée dans la littérature pour le débit de fuite des bâtiments destinés à l'enseignement. Toutefois, la valeur introduite pour le bâtiment avant travaux de rénovation est une valeur tirée de l'étude TABULA (<http://www.building-typology.eu/>) correspondant à une typologie d'immeuble d'appartements se rapprochant le plus possible des typologies étudiées pour ces deux bâtiments d'enseignement.

Plus les mesures appliquées sont nombreuses, plus le débit d'infiltration/exfiltration. Les valeurs du débit de fuite sont reprises dans le tableau ci-dessous :

Débit de fuite (m ³ /h.m ²)	EE1 (petite école de campagne)	EE2 (grande école de type « athénée »)
Situation existante – Immeuble de référence	14.9	14.1
Remplacement des fenêtres	13.68	12.56
Isolation du toit	14.38	13.70
Remplacement des fenêtres et isolation du toit	13.16	12.16
Remplacement des fenêtres, isolation du toit et des murs	12.38	11.42
Remplacement des fenêtres, isolation du toit, des murs et du sol	11.99	11.02
Remplacement des fenêtres, isolation du toit, des murs et du sol - PASSIF	10.85	9.94

Tableau 41 : Etanchéité à l'air des bâtiments destinés à l'enseignement

La méthode de calcul est similaire à celle utilisée pour les bâtiments résidentiels. L'annexe G détaille les calculs relatifs à l'étanchéité à l'air.

5.4.3 INERTIE

L'inertie considérée dans les bâtiments existants est celle utilisée par défaut dans la PEB, quelle que soit la simulation. Cette valeur correspond à 55 kJ/(m²K).

5.4.4 OMBRAGE

Les valeurs par défaut implémentées dans la PEB sont utilisées dans l'ensemble des simulations effectuées.

5.4.5 PROTECTIONS SOLAIRES

Aucune protection solaire n'est placée pour les bâtiments existants.

5.4.6 VENTILATION

Le système de ventilation installé dans les deux bâtiments destinés à l'enseignement est un système de type A non complet, soit une alimentation naturelle et une extraction naturelle ; ses caractéristiques sont définies dans le tableau suivant.

Ventilation : alimentation naturelle, extraction naturelle	
Type de régulation	Pas de régulation, fonctionnement continu , IDA-C1
Puissance spécifique des ventilateurs	Inférieur à 500 W.s/m ³ (SFP 1)

Tableau 42 : Caractéristiques des systèmes de ventilation pour les bâtiments destinés à l'enseignement

5.4.7 CHAUFFAGE

La petite école de campagne est pourvue d'une chaudière non à condensation au mazout et la grande école, alimentée en gaz, est équipée d'une chaudière non à condensation au gaz naturel. Les deux systèmes sont détaillés ci-dessous.

	Petite école de campagne – EE1 CNC mazout	Grande école de type « athénée » – EE2 CNC gaz
rendement à 30% de charge	75%	82%
Hors du volume protégé	Oui	oui
T° de retour à 30% de charge		
chaudière maintenue en t°	Oui	oui
valeur par défaut pour la T° de retour		
veilleuse		oui
Auxiliaire circulateur	Calcul par défaut	Par unité avec régulation
75% des moteurs équipés d'un régulateur	Non	Non
Régulation par local	Oui	Oui
Plusieurs systèmes de production	Non	Non

Tableau 43 : Caractéristiques des systèmes de chauffage pour les bâtiments destinés à l'enseignement

5.4.8 ECLAIRAGE

Dans les bâtiments existants destinés à l'enseignement, la puissance installée est calculée par défaut dans le logiciel PEB car les caractéristiques de l'éclairage sont inconnues.

6. NOUVEAU BÂTIMENT DESTINÉ À L'ENSEIGNEMENT

L'ensemble des mesures / groupes / variantes étudié pour le nouveau bâtiment destiné à l'enseignement porte sur les surfaces de déperdition, l'étanchéité à l'air, les systèmes de ventilation, de chauffage, les luminaires, les protections solaires et le placement de panneaux solaires photovoltaïques. Ces éléments entrent dans l'évaluation du niveau Ew.

6.1 LISTE DES GROUPES DE MESURES ENVISAGÉS

Le bâtiment neuf de départ respecte les exigences actuelles en matière de performance énergétique : son niveau Ew est inférieur ou égal à 80 et son niveau K est inférieur à 45. Toutes les parois du bâtiment respectent les valeurs U_{max} en vigueur actuellement.

Les autres options envisagées sont les suivantes :

- meilleure isolation de toutes les parois et meilleur vitrage ;
- idem point précédent + système de ventilation plus performant ;
- idem point précédent + modification système de chauffage et/ou vecteur énergétique ;
- idem point précédent + installation de panneaux solaires thermiques et/ou photovoltaïques ;
- idem point précédent + luminaires plus performant (gestion automatisée) ;
- idem point précédent + protections solaires intérieures manuelles ou extérieures automatisées.

6.2 MESURES ENVISAGÉES

Les différentes caractéristiques thermiques des parois sont identiques à celles considérées dans le secteur résidentiel. Pour rappel :

	U2012 (base)		U2014		U3		U _{passif}	
PAROIS OPAQUES	U (W/m²K)							
Façades	0.32		0.24		0.20		0.15	
Sol	0.35		0.30		0.24		0.15	
Toiture	0.27		0.24		0.20		0.15	
Portes	2.20		2.00		1.50		0.80	
PAROIS TRANSLUCIDES	U (W/m²K), g (-) et T_L (-)							
	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g	U _w	U _g
Fenêtres	2.2	1.3	1.8	1.1	1.4	0.8	0.8	0.5
	g=0.63 T _L =0.8		g=0.5 T _L =0.71		g=0.38 T _L =0.71		g=0.5 T _L =0.71	

Tableau 44 : Caractéristiques thermiques des parois pour le bâtiment destiné à l'enseignement neuf

En plus des coûts relatifs à l'enveloppe, différents coûts liés aux systèmes analysés sont ajoutés au coût global. Ces systèmes sont repris dans le tableau suivant :

Nouveau bâtiment destiné à l'enseignement (EN)	Situation de référence	Variantes envisagées
Enveloppe	Performances 2012	*Performances 2014 *Performances 3 *Performances passives
Etanchéité à l'air	Valeur de 4 m ³ /h.m ²	* Valeur de 2 m ³ /h.m ²
Systèmes	Chaudière condensation mazout	*chaudière condensation gaz naturel *PAC air-eau *PAC sol-eau *chaudière biomasse
	Protections solaires intérieures manuelles	*extérieures automatiques
	Eclairage, détecteur de présence	* détecteurs de présence et gestion automatisée en fonction de la disponibilité de l'éclairage naturel
	Panneaux photovoltaïques absents	* PV couvrant la consommation moyenne de 1/2 des élèves de l'école * PV couvrant la consommation moyenne de 2/3 des élèves de l'école.
Vecteur énergétique	Mazout	*gaz naturel *électricité *biomasse (pellets)

Tableau 45 : Systèmes installés dans le bâtiment destiné à l'enseignement neuf

6.3 LISTE DES VARIANTES

Les différentes variantes étudiées pour le nouveau bâtiment destiné à l'enseignement sont reprises ci-dessous :

Groupes de mesures / variantes :											
CAS	F	Utoit	Umur	Usol	Etanch	Ventil	Chauf	SolPV	Ecl	PrSol	VE
0	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	C	-	Ec1	PS1	M
1	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	C	-	Ec2	PS1	M
2	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	C	-	Ec1	PS1	M
3	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	Dr	C	-	Ec2	PS1	M
4	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	C	-	Ec2	PS2	M
5	F3	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	C	-	Ec2	PS2	M

6	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	C	-	Ec2	PS2	M
7	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	C	PV1	Ec2	PS1	M
8	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	C	PV1	Ec2	PS2	M
9	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	C	PV1	Ec2	PS2	M
10	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	C	PV2	Ec2	PS1	M
11	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	C	PV2	Ec2	PS2	M
12	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	C	PV2	Ec2	PS2	M
13	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	CC	-	Ec2	PS1	GN
14	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	CC	-	Ec2	PS1	GN
15	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	CC	-	Ec2	PS2	GN
16	F3	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC	-	Ec2	PS2	GN
17	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC	-	Ec2	PS2	GN
18	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	CC	PV1	Ec2	PS1	GN
19	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	Dr	CC	PV1	Ec2	PS1	GN
20	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	CC	PV1	Ec2	PS2	GN
21	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC	PV1	Ec2	PS2	GN
22	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	Dr	CC	PV2	Ec2	PS1	GN
23	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	CC	PV2	Ec2	PS2	GN
24	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	CC	PV2	Ec2	PS2	GN
25	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	C	-	Ec2	PS1	B
26	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	C	-	Ec2	PS1	B
27	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	C	-	Ec2	PS2	B
28	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	C	-	Ec2	PS2	B
29	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	C	PV2	Ec2	PS1	B
30	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	C	C	PV2	Ec2	PS2	B
31	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	C	C	PV2	Ec2	PS2	B
32	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	Dr	C	PV2	Ec2	PS1	B
33	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	C	PV2	Ec2	PS2	B
34	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	C	PV2	Ec2	PS2	B
35	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	COG	-	Ec2	PS1	GN
36	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	COG	-	Ec2	PS1	GN
37	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	Dr	COG	-	Ec2	PS1	GN
38	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	COG	-	Ec2	PS2	GN
39	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	COG	-	Ec2	PS2	GN
40	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	Dr	COG	PV1	Ec2	PS1	GN
41	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	COG	PV1	Ec2	PS2	GN
42	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	COG	PV1	Ec2	PS2	GN
43	F 2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	PAC	-	Ec2	PS1	E
44	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	PAC	-	Ec2	PS1	E
45	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	PAC	-	Ec2	PS2	E
46	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	PAC	-	Ec2	PS2	E
47	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	PAC	PV1	Ec2	PS1	E

48	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	Dr	PAC	PV1	Ec2	PS1	E
49	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	PAC	PV1	Ec2	PS2	E
50	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	PAC	PV1	Ec2	PS2	E
51	F 2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E2	Dr	PAC	PV2	Ec2	PS1	E
52	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	Dr	PAC	PV2	Ec2	PS2	E
53	Fpas	Utoit pas	Umurpas	Usolpas	E2	Dr	PAC	PV2	Ec2	PS2	E

Tableau 46 : Variantes étudiées pour le bâtiment neuf destiné à l'enseignement (EN)

6.4 HYPOTHÈSES DE SIMULATION PEB ET CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES

6.4.1 NŒUDS CONSTRUCTIFS

Les nœuds constructifs pour les écoles ont été considérés comme PEB conformes. La conséquence sur le niveau K est l'augmentation de sa valeur de 3 points. Cette solution est intermédiaire car elle se situe entre la méthode détaillée (favorable) et la méthode forfaitaire qui ajoute 10 points au niveau K (défavorable).

6.4.2 ETANCHÉITÉ À L'AIR

L'étanchéité de l'école neuve varie en fonction des mesures considérées, soit entre 2 (valeur définie par le niveau NZEB) et 4 m³/h.m² (valeur intermédiaire obtenue dans le cas d'une mise en œuvre soignée du bâtiment).

6.4.3 INERTIE

L'inertie considérée dans le bâtiment neuf destiné à l'enseignement est calculée de manière simplifiée. La masse, pour tous les locaux, est de : 100 ≤ min ≤ 400 kg/m².

6.4.4 OMBRAGE

Comme c'était déjà le cas pour les écoles existantes, les valeurs par défaut implémentées pour les fenêtres dans la PEB sont utilisées dans l'ensemble des simulations effectuées pour le nouveau bâtiment d'enseignement.

Pour les panneaux photovoltaïques et les panneaux solaires thermiques, aucun ombrage n'est considéré. Et cela pour les mêmes raisons que pour le résidentiel.

6.4.5 PROTECTIONS SOLAIRES

Dans le nouveau bâtiment, une **protection solaire intérieure manuelle** est considérée dans le cas de base. Pour des cas plus performants, des protections solaires extérieures automatiques sont mises en place dans le bâtiment.

6.4.6 VENTILATION

Deux systèmes de ventilation sont considérés :

- soit il est constitué d'une alimentation naturelle et d'une extraction mécanique ;
- soit il est constitué d'une alimentation mécanique et d'une extraction mécanique couplée à une récupération de chaleur.

Les deux tableaux ci-dessous reprennent respectivement les caractéristiques de la ventilation de type C et de type D (couplé à un récupérateur de chaleur).

Ventilation : alimentation naturelle, extraction mécanique	
Type de régulation	Régulation horaire, IDA-C3
Puissance spécifique des ventilateurs	Entre 750 et 1250 W.s/m ³ (SFP 3)
Type de calcul énergie auxiliaires	PAR DEF AUT

Tableau 47 : Caractéristiques le système de ventilation de type C pour le bâtiment neuf destiné à l'enseignement

Ventilation : alimentation mécanique, extraction mécanique, récupération de chaleur	
Type de régulation	Régulation horaire, IDA-C3
Puissance spécifique des ventilateurs	Entre 750 et 1250 W.s/m ³ (SFP 3)
Type de calcul énergie auxiliaires	Détaillé
	Régulation à vitesse de rotation variable
	Puissance nominale = 500 W par ventilateur
	Puissance nominale ventilos-convecteurs variable selon les variantes
Fonctionnement nocturne automatique	NON
Recyclage de l'air de ventilation	NON
Récupérateur de chaleur	OUI
By-pass	OUI
Passage à travers l'échangeur interrompu	OUI
Rendement thermique	80%
Alimentation mécanique	OUI
Mesure continue du débit entrant	OUI
Valeur de consigne du débit pulsé	« somme de tous les débits insufflés, locaux secs »
Evacuation mécanique	OUI
Mesure continue du débit sortant	OUI
Valeur de consigne du débit extrait	« somme de tous les débits rejetés, locaux humides »

Tableau 48 : Caractéristiques le système de ventilation de type D pour le bâtiment neuf destiné à l'enseignement

6.4.7 CHAUFFAGE

Le nouveau bâtiment de bureaux est équipé en base d'une chaudière à condensation au mazout (en rouge dans le tableau ci-dessous).

	CC gaz	CC mazout	CNC biomasse
rendement à 30% de charge	107%	101%	92%
Hors du volume protégé	non	non	Oui
T° de retour à 30% de charge	30°C	30°C	
chaudière maintenue en t°	non	non	
valeur par défaut pour la T° de retour	oui	oui	
veilleuse	non		
Auxiliaire circulateur	Calcul par défaut – 75 % des moteurs équipés d'un régulateur		
Transport de chaleur	Par eau		
Régulation par local	oui		
Plusieurs systèmes de production	non		

Tableau 49 : Caractéristiques des systèmes de chauffage installés dans le bâtiment neuf destiné à l'enseignement

Pour les pompes à chaleur air-eau, les caractéristiques suivantes sont prises en compte :

	PAC air-eau	PAC sol – eau
COP test	3.1	4,3
Emission	Par sol, mur, plafond	Par sol, mur, plafond
T° moyenne mensuelle du fluide caloporteur	40°C	40°C
Δt° entre départ et retour du système	10°C	10°C
Augmentation de température à travers le condenseur	5°C	5°C
Pompe pour l'apport de chaleur vers l'évaporateur	Oui, valeur par défaut pour la puissance électrique	Oui, valeur par défaut pour la puissance électrique
Pompe pour apporter la chaleur à l'évaporateur		
FPS	3.35	3,88

Tableau 50 : Caractéristiques de la pompe à chaleur installée dans le bâtiment neuf destiné à l'enseignement

6.4.8 ECLAIRAGE

L'éclairage installé pour les cas de base est un éclairage performant dont les caractéristiques sont les suivantes :

Luminaire	
Nombre de lampes par luminaire	4
Puissance du luminaire (W)	4*14 W

Tableau 51 : Caractéristiques des luminaires considérés dans le bâtiment neuf destiné à l'enseignement

Pour le bâtiment neuf, les niveaux de lux suivants sont associés aux différents espaces :

Espaces	Eclairage (lux)
Salle	300
WC	150
Autre espace	100
Entrée principale, cafétéria	200
Bibliothèque	500

Tableau 52 : Eclairage des espaces du bâtiment neuf destiné à l'enseignement

Le même éclairage est considéré pour les cas plus performant, mais le système de commande est remplacé par la détection de présence au dimming.

6.4.9 PANNEAUX PV

La surface de panneaux photovoltaïques est définie en fonction du nombre d'élèves. Une enquête réalisée par l'Institut de Conseils et d'Etudes en Développement Durable sur 26 établissements, de 100 à 1 962 élèves, soit un total de 18 103 élèves révèle que la consommation spécifique moyenne en électricité par élève de l'enseignement des Communautés en 2004 s'élève à 393 kWh/élève. L'école étudiée compte environ 396 élèves. La consommation spécifique totale en électricité s'élève alors à $396 \times 393 \text{ kWh/élève} = 155628 \text{ kWh}$.

Dans le cas de base, l'installation photovoltaïque couvre la moitié de la consommation spécifique totale en électricité. Le nombre de panneau est donc de :

Nombre d'élèves	Consommation par élève [kWh/élève]	Consommation totale [kWh]
198	393	77814

Tableau 53 : Calcul de la consommation totale pour l'école EN

Sachant que 1 Wc équivaut à 0,85 kWh/an, la puissance crête nécessaire est égale à 91545,88 Wc ($77814 \times 0,85$). Si un panneau d'une superficie de 1,6 m² a une puissance de 245 Wc, il faut installer 374 panneaux ($91545,88/245$), soit une surface totale de 597,85 m². Cette surface est bien inférieure à 50% de la superficie de la toiture.

Dans les variantes, l'installation photovoltaïque couvre 2/3 de la consommation spécifique totale en électricité. Le nombre de panneau est donc de :

Nombre d'élèves	Consommation par élève [kWh/élève]	Consommation totale [kWh]
$393 \cdot \frac{2}{3} = 264$	393	103752

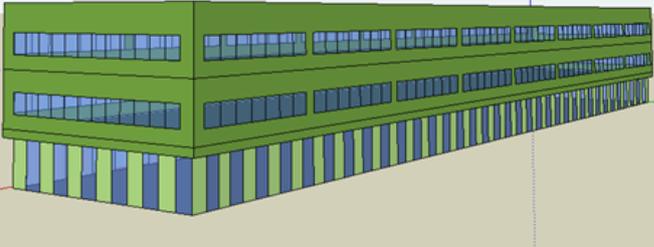
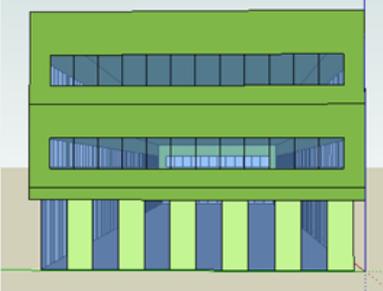
Sachant que 1 Wc équivaut à 0,85 kWh/an, la puissance crête nécessaire est égale à 122061,18 Wc ($103752 \cdot 0,85$). Si un panneau d'une superficie de 1,6 m² a une puissance de 245 Wc, il faut installer 498 panneaux ($122061,18/245$), soit une surface totale de 797,13m². Cette surface est bien inférieure à 50% de la superficie de la toiture.

ANNEXES

ANNEXE A : CALCUL DES COEFFICIENTS DE DEPERDITIONS DES PAROIS CONSIDEREES

Murs	1971-1990	<1945	
Briques (plein)	briques	0,39	1,3
		U=	2,13 W/m ² K
Béton non isolé	plâtre	0,015	0,52
	béton	0,2	1,7
	cavité	0,06	-
	panneaux béton	0,12	0,58
		U=	1,63 W/m ² K
Béton isolé 2	plâtre	0,015	0,52
	béton	0,2	1,7
	isolant	0,02	0,045
	cavité	0,02	-
	panneaux béton	0,12	0,58
		U=	0,95 W/m ² K
Béton isolé 6	plâtre	0,015	0,52
	béton	0,2	1,7
	isolant	0,06	0,045
	panneaux béton	0,12	0,58
		U=	0,54 W/m ² K
Toits			
Béton non isolé	plâtre	0,015	0,52
	béton	0,3	1,7
	étanchéité	-	-
	lestage	-	-
		U=	2,90 W/m ² K
Béton isolé 4	plâtre	0,015	0,52
	béton	0,3	1,7
	isolant	0,04	0,045
	étanchéité	-	-
	lestage	-	-
		U=	0,81 W/m ² K
Béton isolé 8	plâtre	0,015	0,52
	béton	0,3	1,7
	isolant	0,08	0,045
	étanchéité	-	-
	lestage	-	-
		U=	0,47 W/m ² K
Dalle de sol			
Béton non isolé	béton	0,2	2,2
	mortier ciment	0,02	0,93
	carrelage terre cuite	0,01	0,81
		Rtot=	0,125 W/m ² K
Béton isolé 2	béton	0,2	2,2
	isolant	0,02	0,045
	mortier ciment	0,015	0,93
	carrelage terre cuite	0,01	0,081
		Rtot=	0,564 W/m ² K
Fenêtres			
			Uw (W/m ² K)
	simple vitrage châssis bois		5
	double vitrage châssis métallique		4,3
	double vitrage coupure thermique		3,5

ANNEXE B : FICHES RECAPITULATIVES DES BATIMENTS DE BUREAUX ET SERVICES EXISTANTS DE REFERENCE

PBE2		Bureaux et Services						
		Petit bureau Torhout						
Informations générales		Enveloppe			Equipements			
Architecte	?	SUT	4403	m ²	Chauffage	Chauffage central (plusieurs SE)		
Ville	Torhout	Vol protégé	18352	m ³		Chaudière à eau chaude sans condensation		
Adresse	?	Compacité	3,11	m		Gaz naturel		
Année construction	?	Niveau K	83			Radiateurs		
Rénovation?	?	Umur ext	0,95	W/m ² K		ECS	Pas d'ECS	
Type rénovation	?	U toit	0,81	W/m ² K		Ventilation	évacuation mécanique pas de récup	
Année rénovation	?	U fenêtres	4,3	W/m ² K	Mach.frigo comp			
Archi. Rénovation	?	U dalle sol	0,57	W/m ² K	Froid	électricité		
Espace adjacent non chauffé	non	Umoyen	1,41	W/m ² K				
		v50	12	m ³ /m ² h				
Résultats PEB						BNE de chauffage (kWh/m ² an)		
Type UPEB	Ach (m ²)	Niveau K	Niveau Ew	Espec (kWh/m ² an)	Proba. de surch.			
Bâtiment PBE2	4953,375	83	291	379	-	124,00		
Illustrations								
								

GBE2

Bureaux et Services

Grand bureau Charleroi

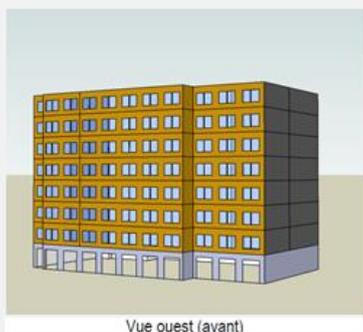


Informations générales		Enveloppe			Equipements		
Architecte	?	SUT	5089	m ²	Chauffage	Chauffage central	
Ville	Charleroi	Vol protégé	17769	m ³		Chaudière à eau chaude sans condensation	
Adresse	?	Compacité	5,06	m		Gaz naturel	
Année construction	?	Niveau K	148			Radiateurs	
Rénovation?	?	Umur ext	2,00	W/m ² K		ECS	Pas d'ECS
Type rénovation	?	U toit	3,04	W/m ² K		Ventilation	extraction mécanique pas de récup
Année rénovation	?	U fenêtres	5	W/m ² K			Froid
Archi. Rénovation	?	U dalle sol	3,04	W/m ² K			
Espace adjacent non chauffé	non	Umoyen	2,95	W/m ² K			
		v50	12	m ³ /m ² h			

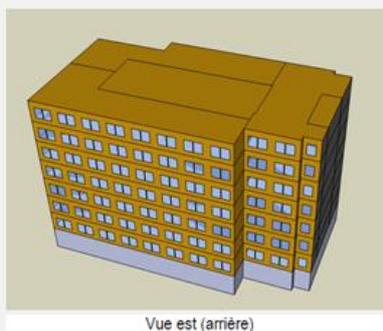
Résultats PEB

Type UPEB	Ach (m ²)	Niveau K	Niveau Ew	Espec (kWh/m ² an)	Proba. de surch.	BNE de chauffage (kWh/m ² an)
Bâtiment GBE2	5725,125	148	408	334	-	123,15

Illustrations



Vue ouest (avant)



Vue est (arrière)

Tableau annexe B1 - Géométrie du petit bâtiment de bureaux (Etude EPIcool)

Petit bâtiment de bureaux	Total	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6
		caféteria	lobby	techniques	sanitaires	Bureaux paysagers	Salles de réunion
Volume protégé (m ³)	18352	1292	2870	712	929	11006	1544
Surface d'utilisation (m ²)	4403	374	831	201	226	2410	362
Surface de déperditions (m ²)	5895	598	1394	205	155	3354	188
Compacité (m)	3.11	-	-	-	-	-	-

Tableau annexe B2 - Géométrie du grand bâtiment de bureaux (basée sur l'étude EPIcool)

Grand bâtiment de bureaux	Total	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
		Sanitaires Techniques Circulation	Bureaux Salles de réunions	Bureaux	Bureaux Salles de réunion
Volume protégé (m ³)	17768	5001	4585	3465	4717
Surface d'utilisation (m ²)	5089	1498	1288	980	1323
Surface de déperditions (m ²)	3513	433	1129	790	1161
Compacité (m)	5.06	-	-	-	-

ANNEXE D : ETANCHEITE A L'AIR DES BATIMENTS EXISTANTS

Bureaux et services: GBE2		
Bâtiment	Exemple fictif	(m ²)
	surface dalle sol	769,2
	surface parois opaques verticales	1392,93
	surface fenêtres	582,12
	surface toit	769,2
	surface de déperditions totale	3513,45
	Volume (m³)	17768,52
Etanchéité de référence	12 m ³ /h.m ²	
Débit total inf/exf	42161,4 m ³ /h	
HYPOTHESE: toutes les parois opaques laissent passer l'air de la même façon, idem pour toutes les fenêtres		
Pour connaître la répartition de débit inf/exf entre fenêtres et parois opaques:		
		m ³ /h.m ² sous 50 Pa
Situation de référence	simple vitrage	25 classe 1; valeur estimée par nos soins
	double vitrage	17 classe 2
Valeur de fuite des fenêtres sous 50 Pa	25 m ³ /h.m ²	
	14553 m ³ /h	
BASE	Débit dû à la dalle de sol	7245 m ³ /h
	Débit dû aux parois opaques vert	13119 m ³ /h
	Débit dû au toit	7245 m ³ /h
	Débit dû aux fenêtres	14553 m ³ /h
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	42161 m ³ /h
1/ Remplacement fenêtres uniquement:		
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)		
Fenêtres de classe 4	double vitrage	m ³ /h.m ² sous 50 Pa
		1,89
	Débit dû à la dalle de sol	7245 m ³ /h
	Débit dû aux parois opaques vert	13119 m ³ /h
	Débit dû au toit	7245 m ³ /h
	Débit dû aux fenêtres	1100 m ³ /h
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	28709 m ³ /h
Etanchéité améliorée	8,171058874 m ³ /h.m ²	
2/ Isolation du toit seul		
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)		
Amélioration considérée	12,5 ³ %	
	Débit dû à la dalle de sol	7245 m ³ /h
	Débit dû aux parois opaques vert	13119 m ³ /h
	Débit dû au toit	6339 m ³ /h
	Débit dû aux fenêtres	14553 m ³ /h
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	41256 m ³ /h
Etanchéité améliorée	11,74225394 m ³ /h.m ²	

**3/remplacement des fenêtres + isolation du toit
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)**

 Amélioration considérée 12,5%

Débit dû à la dalle de sol	7245 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	13119 m ³ /h
Débit dû au toit	6339 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	1100 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	27803 m ³ /h

 Etanchéité améliorée 7,913312813 m³/h.m²
**4/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation
murs
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)**

 Amélioration considérée 12,5%

Débit dû à la dalle de sol	7245 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	11479 m ³ /h
Débit dû au toit	6339 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	1100 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	26163 m ³ /h

 Etanchéité améliorée 7,446565256 m³/h.m²
**5/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation
murs + isolation dalle de sol
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)**

 Amélioration considérée 12,5%

Débit dû à la dalle de sol	6339 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	11479 m ³ /h
Débit dû au toit	6339 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	1100 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	25258 m ³ /h

 Etanchéité améliorée 7,188819195 m³/h.m²
**6/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation
murs + isolation dalle de sol
avec U passif pour tout**

 Amélioration considérée 20%

Débit dû à la dalle de sol	5796 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	10495 m ³ /h
Débit dû au toit	5796 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	221 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	22308 m ³ /h

 Etanchéité améliorée 6,3492936 m³/h.m²

Bureaux et services: PBE2

Bâtiment	Exemple fictif	(m ²)
	surface dalle sol	1600,4
	surface parois opaques verticales	1655,06
	surface fenêtres	1039,06
	surface toit	1600,4
	surface de déperditions totale	5894,92
	Volume (m³)	18351,96

Etanchéité de référence **12 m³/h.m²**
 Débit total inf/exf **70739,04 m³/h**

HYPOTHESE: toutes les parois opaques laissent passer l'air de la même façon, idem pour toutes les fenêtres

Pour connaître la répartition de débit inf/exf entre fenêtres et parois opaques:

Situation de référence		m ³ /h.m ² sous 50 Pa
simple vitrage		25 classe 1; valeur estimée par nos soins
double vitrage		17 classe 2

Valeur de fuite des fenêtres sous 50 Pa **17 m³/h.m²**
 17664,02 m³/h

BASE		
Débit dû à la dalle de sol	17493	m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	18090	m ³ /h
Débit dû au toit	17493	m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	17664,02	m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	70739	m ³ /h

1/ Remplacement fenêtres uniquement:

pour un U2012 (ou U2014 ou U3)

Fenêtres de classe 4	double vitrage	m ³ /h.m ² sous 50 Pa
		1,89

Débit dû à la dalle de sol	17493	m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	18090	m ³ /h
Débit dû au toit	17493	m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	1963,8234	m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	55039	m ³ /h

Etanchéité améliorée **9,336656545 m³/h.m²**

2/ Isolation du toit seul

pour un U2012 (ou U2014 ou U3)

Amélioration considérée **12,5 %**

Débit dû à la dalle de sol	17493	m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	18090	m ³ /h
Débit dû au toit	15306	m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	17664	m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	68552	m ³ /h

Etanchéité améliorée **11,62907624 m³/h.m²**

**3/remplacement des fenêtres + isolation du toit
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)**

 Amélioration considérée 12,5 %

Débit dû à la dalle de sol	17493 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	18090 m ³ /h
Débit dû au toit	15306 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	1964 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	52852 m ³ /h

 Etanchéité améliorée 8,965732788 m³/h.m²
**4/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation
murs**

pour un U2012 (ou U2014 ou U3)

 Amélioration considérée 12,5 %

Débit dû à la dalle de sol	17493 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	15829 m ³ /h
Débit dû au toit	15306 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	1964 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	50591 m ³ /h

 Etanchéité améliorée 8,582140516 m³/h.m²
**5/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation
murs + isolation dalle de sol**

pour un U2012 (ou U2014 ou U3)

 Amélioration considérée 12,5 %

Débit dû à la dalle de sol	15306 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	15829 m ³ /h
Débit dû au toit	15306 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	1964 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	48404 m ³ /h

 Etanchéité améliorée 8,21121676 m³/h.m²
**6/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation
murs + isolation dalle de sol**

avec Upassif (pour tout)

 Amélioration considérée 20 %

Débit dû à la dalle de sol	13994 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	14472 m ³ /h
Débit dû au toit	13994 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	395 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	42855 m ³ /h

 Etanchéité améliorée 7,269794806 m³/h.m²

ANNEXE E: DEBITS DE VENTILATION NOUVEAU BATIMENT DE BUREAUX ET SERVICES

	débit hygiénique minimum (m ³ /h)	air extérieur (m ³ /h)		air transféré (m ³ /h)		
		alim	extr	alim	extr	
0.1	hall entrée	88	250	0	0	250
0.2	réception	44	250	0	0	250
0.5	mess	352	375	0	0	375
0.6-0.7	bureaux print corner	88	500	0	0	500
0.8	bureau	220	500	0	0	500
0.14	meeting room	176	250	250	0	0
0.9	bureaux	264	750	0	0	750
0.1	office room	66	250	250	0	0
0.12	meeting room	484	700	700	0	0
1.1-1.2-1.3-1.5-1.6-1.73	bureaux	242	1500	0	0	1500
1.8	bureaux	88	500	0	0	500
1.9-1.10-1.11-1.12	bureaux	264	1750	0	0	1750
1.14	bureaux	44	250	250	0	0
-1.2	WC PMR	25	0	25	25	0
1	douche	50	0	50	50	0
-1.8	douche PMR	50	0	50	50	0
0.3	kitchenette	44	125	500	375	0
0.17	wc femmes	50	0	50	50	0
0.28	wc hommes	75	0	75	75	0
1.17	wc femmes	50	0	50	50	0
1.28	wc hommes	75	0	75	75	0
-1.1/-1.4/0.2-0.21- 0.22/1.2-1.21	escalier	97.5	0	250	375	125
-1.5	entrée garage	10.4	0	0	100	100
-1.3	archives	80.6	125	0	0	125
0.4-0.15-0.16-0.24-0.13	patio	136.5	0	1750	2000	250
0.11	data/storage	18.2	0	125	125	0
1.14-1.15-1.16	circulation	143	0	3625	3750	125
			8075	8075	7100	7100

ANNEXE F: CALCUL DE LA PUISSANCE PRODUITE PAR PHOTOVOLTAÏQUE PAR M² DE TOITURE PLATE

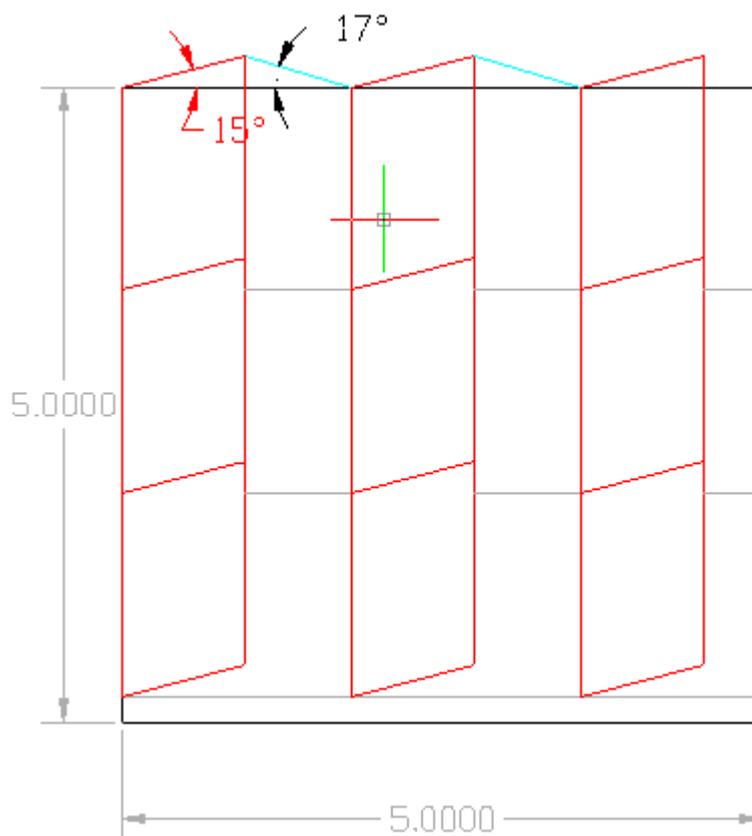
Si on considère des panneaux solaires ayant les caractéristiques suivantes :

- P_{nom}= 245Wc
- Dimension : 1,6 m x 1m
- Inclinaison de 15°

Et que l'on prend en considération l'élément suivant :

- Un angle de 17° entre le bord supérieur d'un panneau et le bord inférieur du panneau de la rangée derrière est l'angle optimal pour ne pas avoir d'ombrage

On peut établir le schéma suivant :



9 panneaux photovoltaïques de 1,6 m² peuvent donc être placés sur 25 m² de toiture.

P produite : $9 * 245 = 2205$ Wc

P produite par m² : $2205/25 = 88,2$ Wc

ANNEXE E : PLANS DE LA GRANDE ECOLE EXISTANTE EE2

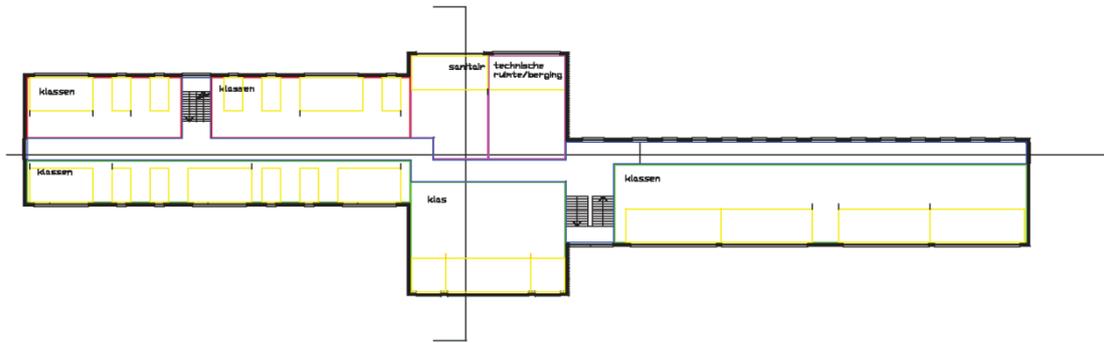
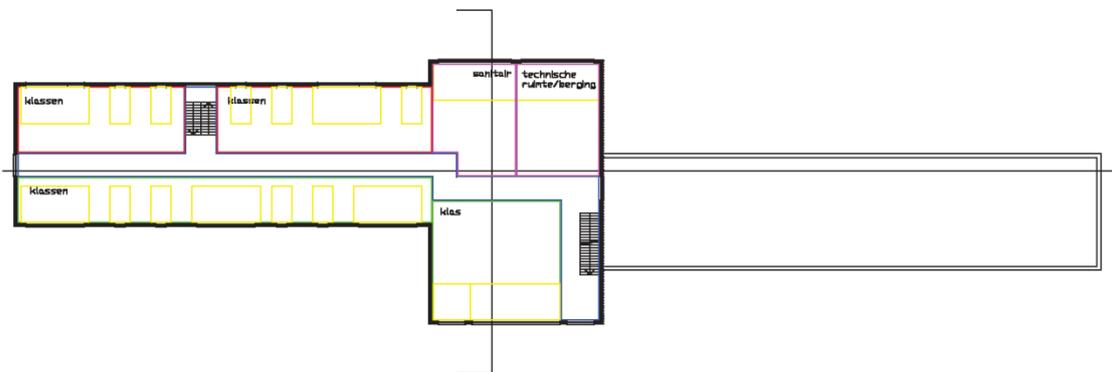
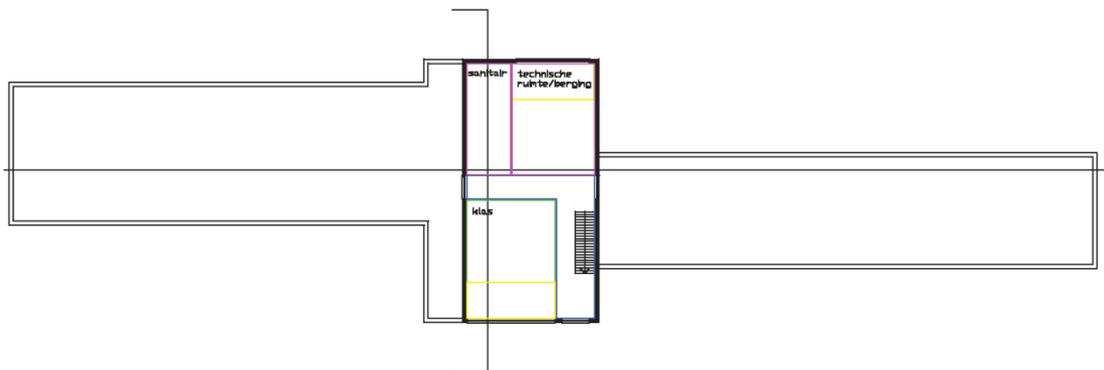


Figure 24- Plan rez-de-chaussée

Figure 25 - Plan 1^e étageFigure 26 - Plan du 2^e étage

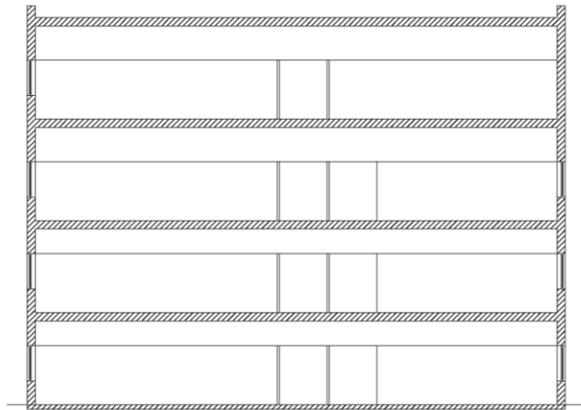


Figure 27 - Coupe

ANNEXE F : PLANS DE L'ÉCOLE NEUVE EN

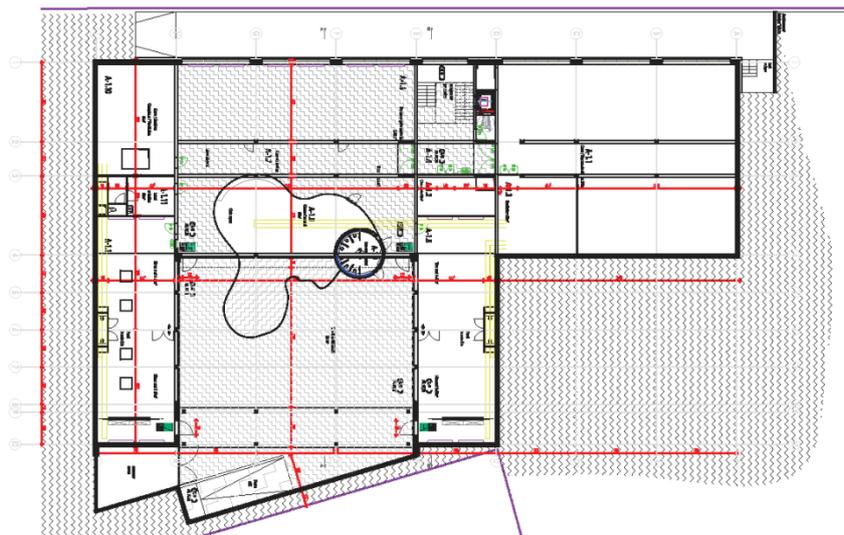


Figure 28 - Plan du R-1

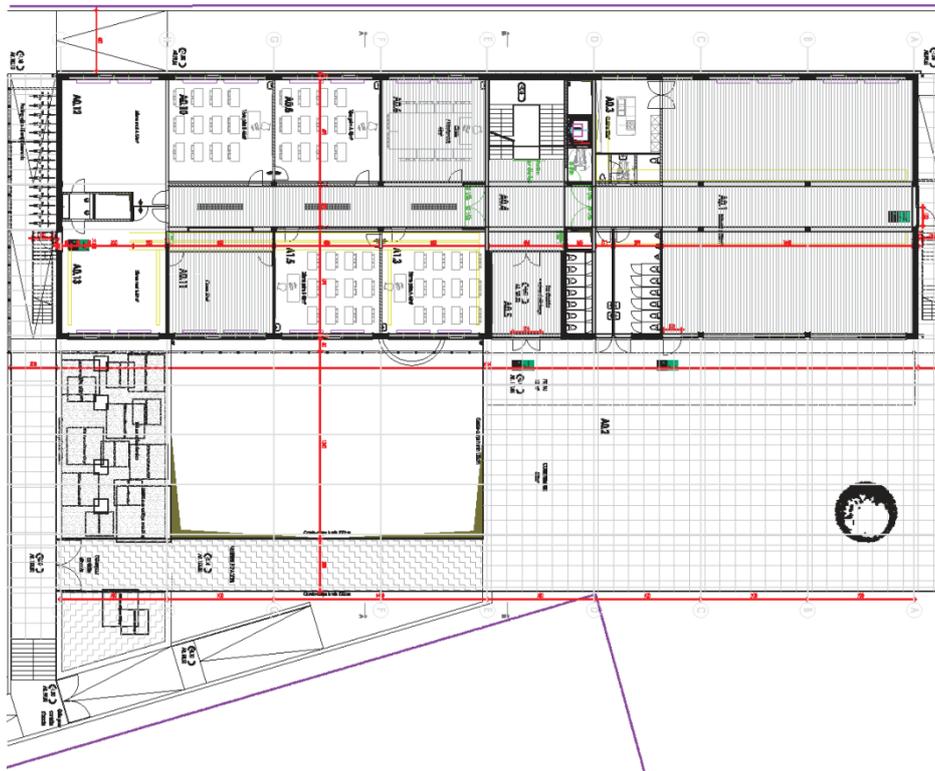


Figure 29 - plan du R

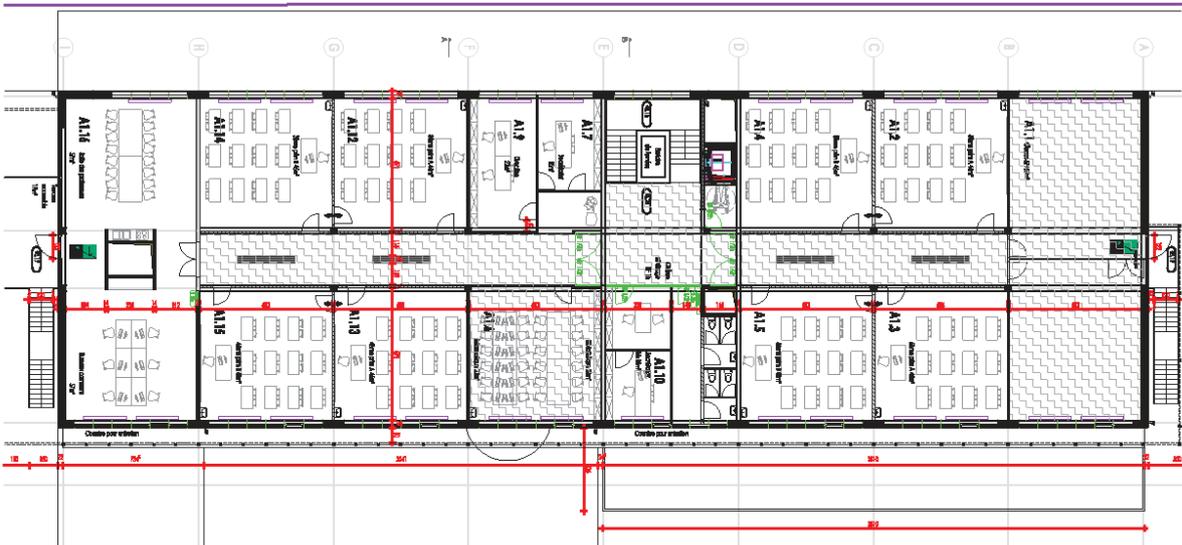


Figure 30 - Plan du R+1

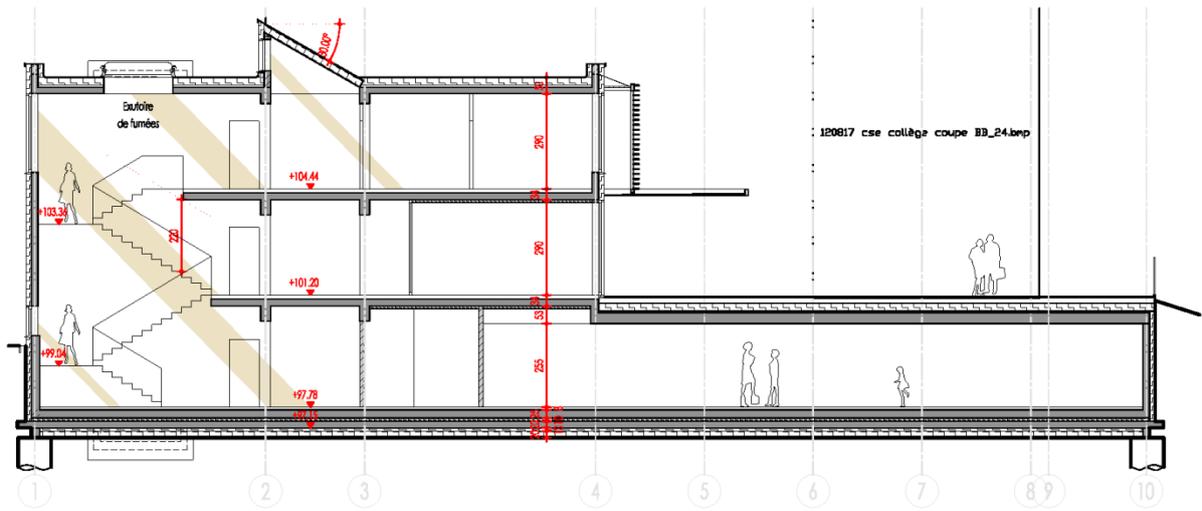


Figure 31 - Coupe

ANNEXE G : ETANCHEITE A L'AIR DES BATIMENTS EXISTANTS

Enseignement: EE1		
Bâtiment	Exemple fictif	(m ²)
	surface dalle sol	527,28
	surface parois opaques verticales	1030,81
	surface fenêtres	197,74
	surface toit	691,54
	surface de déperditions totale	2447,37
	Volume (m³)	3551,91
Etanchéité de référence	14,9 m ³ /h.m ²	
Débit total inf/exf	36465,813 m ³ /h	
HYPOTHESE: toutes les parois opaques laissent passer l'air de la même façon, idem pour toutes les fenêtres		
Pour connaître la répartition de débit inf/exf entre fenêtres et parois opaques:		
Situation de référence	simple vitrage	m ³ /h.m ² sous 50 Pa
	double vitrage	25 classe 1; valeur estimée par nos soins
		17 classe 2
Valeur de fuite des fenêtres sous 50 Pa	17 m ³ /h.m ²	
	3361,58 m ³ /h	
BASE	Débit dû à la dalle de sol	7759 m ³ /h
	Débit dû aux parois opaques vert	15169 m ³ /h
	Débit dû au toit	10176 m ³ /h
	Débit dû aux fenêtres	3361,58 m ³ /h
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtiment	36466 m ³ /h
1/ Remplacement fenêtres uniquement:		
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)		m ³ /h.m ² sous 50 Pa
Fenêtres de classe 4	double vitrage	1,89
Débit dû à la dalle de sol	7759 m ³ /h	
Débit dû aux parois opaques vert	15169 m ³ /h	
Débit dû au toit	10176 m ³ /h	
Débit dû aux fenêtres	373,7286 m ³ /h	
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtiment	33478 m ³ /h	
Etanchéité améliorée	13,67915828 m ³ /h.m ²	1,220842
1bis/Isolation du toit uniquement		
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)		
Amélioration considérée	12,5 %	
Débit dû à la dalle de sol	7759 m ³ /h	
Débit dû aux parois opaques vert	15169 m ³ /h	
Débit dû au toit	8904 m ³ /h	
Débit dû aux fenêtres	3362 m ³ /h	
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtiment	35194 m ³ /h	
Etanchéité améliorée	14,38024327 m ³ /h.m ²	0,519757

**2/remplacement des fenêtres + isolation du toit
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)**

Amélioration considérée

12,5 %

Débit dû à la dalle de sol	7759 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	15169 m ³ /h
Débit dû au toit	8904 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	374 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	32206 m ³ /h

Etanchéité améliorée 13,15940155 m³/h.m² 1,740598

**3/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation
murs
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)**

Amélioration considérée

12,5 %

Débit dû à la dalle de sol	7759 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	13273 m ³ /h
Débit dû au toit	8904 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	374 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	30310 m ³ /h

Etanchéité améliorée 12,38465181 m³/h.m² 2,515348

**4/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation
murs + isolation dalle de sol
pour un U2012 (ou U2014 ou U3)**

Amélioration considérée

12,5 %

Débit dû à la dalle de sol	6789 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	13273 m ³ /h
Débit dû au toit	8904 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	374 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	29340 m ³ /h

Etanchéité améliorée 11,98835177 m³/h.m² 2,911648

**5/remplacement des fenêtres + isolation du toit + isolation
murs + isolation dalle de sol
avec Upassif (pour tout)**

Amélioration considérée

20 %

Débit dû à la dalle de sol	6207 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	12135 m ³ /h
Débit dû au toit	8141 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	75 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	26559 m ³ /h

Etanchéité améliorée 10,85186449 m³/h.m² 4,048136

Enseignement: EE2

Bâtiment	Exemple fictif	(m ²)
	surface dalle sol	1195,39
	surface parois opaques verticales	2201,475
	surface fenêtres	519,83
	surface toit	1195,39
	surface de déperditions totale	5112,085
	Volume (m ³)	13764

Etanchéité de référence: 14,1 m³/h.m²
 Débit total inf/exf: 72080,3985 m³/h

HYPOTHESE: toutes les parois opaques laissent passer l'air de la même façon, idem pour toutes les fenêtres

Pour connaître la répartition de débit inf/exf entre fenêtres et parois opaques:

Situation de référence		m ³ /h.m ² sous 50 Pa
simple vitrage		25 classe 1; valeur estimée par nos soins
double vitrage		17 classe 2
Valeur de fuite des fenêtres sous 50 Pa	17 m ³ /h.m ²	
	8837,11 m ³ /h	

BASE	Débit dû à la dalle de sol	16463 m ³ /h
	Débit dû aux parois opaques vert	30318 m ³ /h
	Débit dû au toit	16463 m ³ /h
	Débit dû aux fenêtres	8837,11 m ³ /h
	Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	72080 m ³ /h

1/ Remplacement fenêtres uniquement:

pour un U2012 (ou U2014 ou U3)

Fenêtres de classe 4	double vitrage	m ³ /h.m ² sous 50 Pa
		1,89

Débit dû à la dalle de sol	16463 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	30318 m ³ /h
Débit dû au toit	16463 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	982,4787 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	64226 m ³ /h

Etanchéité améliorée: 12,56351708 m³/h.m² 1,536483

1bis/Isolation du toit uniquement

pour un U2012 (ou U2014 ou U3)

Amélioration considérée: 12,5%

Débit dû à la dalle de sol	16463 m ³ /h
Débit dû aux parois opaques vert	30318 m ³ /h
Débit dû au toit	14405 m ³ /h
Débit dû aux fenêtres	8837 m ³ /h
Débit total de fuite sous 50 Pa du bâtim	70023 m ³ /h

Etanchéité améliorée: 13,6974591 m³/h.m² 0,402541

CO-ZEB

RAPPORT FINAL DU PROJET (4) COÛTS D'INVESTISSEMENTS INITIAUX

JUIN 2013

*Pour le compte du
Département de l'Énergie et du Bâtiment durable
SPW-DGO4*



Sommaire

1	Définition des coûts.....	5
1.1.	Hypothèses bâtiments existants bâtiments neufs	6
1.2.	Hypothèses secteur résidentiel secteur tertiaire	6
1.3.	Tableau récapitulatif	7
2	Matériaux constitutifs de l'enveloppe	8
2.1.	Méthodologie générale	8
2.2.	Catégories et couches des parois de l'enveloppe	9
2.3.	Méthode de calcul coûts de la couche « Isolation »	12
2.3.1	Variantes de départ.....	12
2.3.2	Pondération des mesures d'isolation.....	12
2.3.3	Calcul du coût moyen par tranche d'épaisseur	13
2.3.4	Calcul du coût de la couche « Isolation » par surface de paroi.....	14
2.3.5	Tableau récapitulatif.....	15
2.4.	Paquets de coûts Enveloppe présentation générale.....	18
3	Mise en œuvre de l'étanchéité à l'air bâtiment neufs	18
4	Systèmes & composants.....	19
4.1	Méthodologie générale	19
4.2	Présentation des catégories	20
4.3	Systèmes de production et émission de chaleur et de froid.....	21
4.3.1	Chaudières.....	22
4.3.2	Cogénération	22
4.3.3	Pompes à chaleur	22
4.3.4	Système de refroidissement.....	23
4.3.5	Système d'émission de chaleur et de froid	23
4.4	Systèmes de ventilation	24
4.5	Éclairage	24
4.6	Énergie solaire	24

4.7	Paquets de coûts Systèmes présentation générale.....	25
5	Durée de vie	25
5.1	Mesures au niveau de l’enveloppe	25
5.2	Systèmes.....	26
6	Frais d’exploitation et de maintenance.....	26
7	Energie.....	26
7.1	Coûts de l’énergie.....	26
7.2	Scénarios d’évolution des coûts de l’énergie	26
8	Primes, déductions fiscale et TVA	27
8.1	Primes énergie.....	27
8.2	Déduction fiscale	27
8.3	Taux réduit de TVA	27
9	Annexes	28
9.1	Tableaux de coûts moyens – mesures d’isolation.....	28
9.1.1	Toiture	28
9.1.2	Sol	32
9.1.3	Parois verticales.....	33
9.1.4	Fenêtres.....	36
9.2	Tableaux de coûts moyens – systèmes	39
9.2.1	Chaudières et cogénération	39
9.2.2	Pompes à chaleur	40
9.2.3	Équipement annexes au chauffage	42
9.2.4	Ventilation	43
9.2.5	Refroidissement	43
9.2.6	Protections solaires	44
9.2.7	Éclairage	44
9.2.8	Énergie Solaire.....	45
9.3	Descriptions des sources de données de prix	45
9.4	Durées de vie.....	46
9.4.1	Durée de vie des éléments constitutifs de l’enveloppe du bâtiment	46
9.4.2	Durées de vie systèmes	46
9.5	Frais d’exploitation et de maintenance.....	47
9.6	Coûts de l’énergie.....	48
9.6.1	Électricité et Gaz.....	48

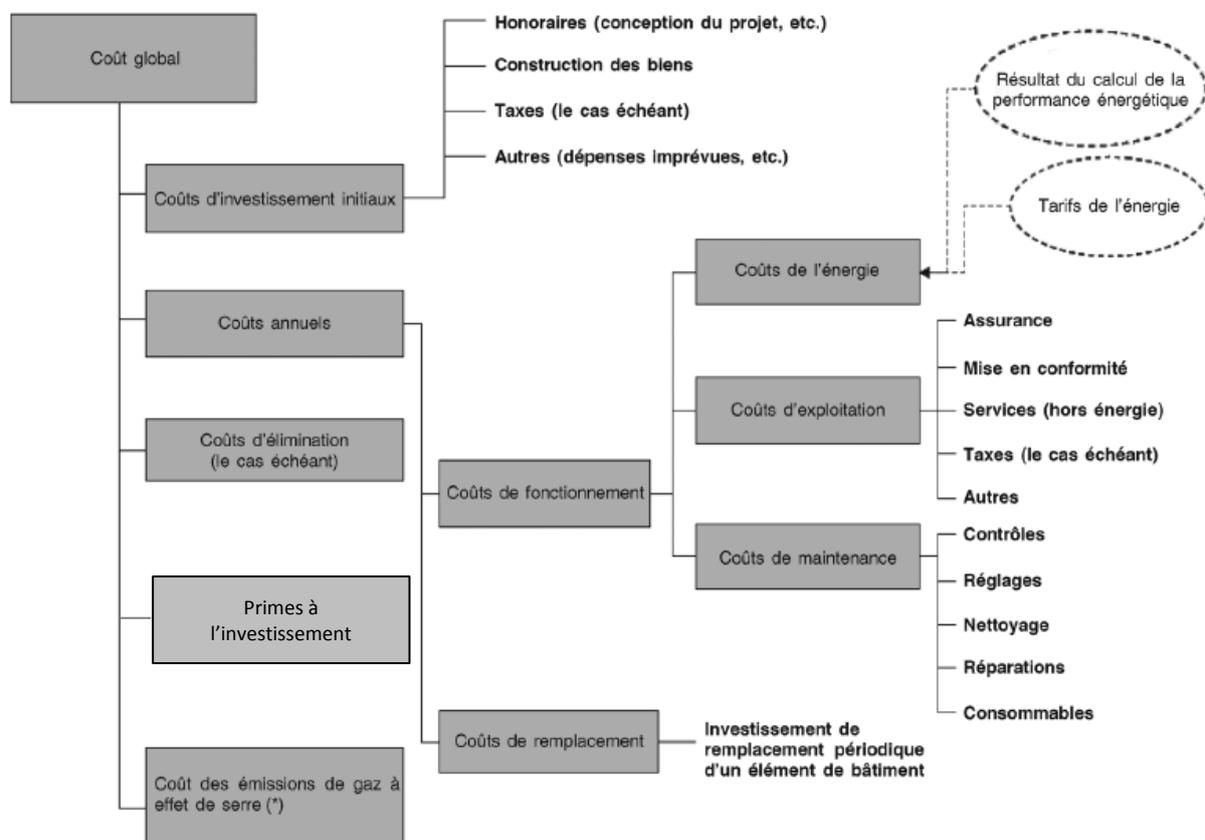
9.6.2	Produits pétroliers.....	48
9.6.3	Biomasse.....	48
9.7	Études de scénarii d'évolution des coûts de l'énergie	49
9.7.1	European Commission - EU Energy Trends to 2030, 2009 update.....	49
9.7.2	European Commission - European Energy & Transport, Scenarios for High Oil & Gas, 2006	49
9.7.3	U.S. Energy Information Administration - International Energy Outlook 2011	49
9.8	Tableaux récapitulatifs primes	50

1 Définition des coûts

Conformément à la directive 2010/31/UE, les États membres sont tenus d'établir des niveaux optimaux d'exigences minimales en matière de performance énergétique en fonction des coûts.

Les grandes catégories de coût établies sont les suivantes (cf. figure ci-dessous):

- coûts d'investissement initiaux ;
- coûts annuels (comprenant les coûts de fonctionnement y compris les coûts de l'énergie et les coûts de remplacement périodique) ;
- coûts d'élimination, le cas échéant ;
- coût des émissions de gaz à effet de serre intégré au calcul macroéconomique.



(*) uniquement pour le calcul macroéconomique

Figure 1 - Catégories de coûts (extrait des guidelines)

La plupart des catégories de coût comme les coûts d'investissement, les coûts de maintenance, les coûts de remplacement,... sont associés dans une large mesure à des éléments spécifiques du bâti. Par conséquent, pour calculer le coût global, il faut décomposer les bâtiments en suffisamment d'éléments de bâtiment distincts pour que les différences de mesures/groupes/variantes apparaissent dans le résultat du calcul.

Les coûts établis pour chacune des mesures/groupes/variantes diffèrent selon la catégorie de bâtiments et de secteur. Ces catégories sont au nombre de quatre, à savoir :

- les bâtiments existants ;
- les bâtiments neufs ;

- le secteur résidentiel ;
- le secteur tertiaire.

1.1. Hypothèses bâtiments existants | bâtiments neufs

Les coûts des mesures / groupes / variantes étudiés pour les bâtiments existants sont définis uniquement pour les modifications portant sur l'enveloppe des bâtiments, c'est-à-dire sur :

- les parois opaques ;
- les fenêtres (vitrage seul ou châssis et vitrage) ;
- le plancher ;
- la toiture.

Par contre, les coûts des mesures / groupes / variantes relatifs aux bâtiments neufs sont déterminés non seulement pour les éléments constituant l'enveloppe mais également pour les systèmes de ventilation, de chauffage, la production d'ECS, et le placement de panneaux solaires thermiques et/ou photovoltaïques. Tous ces composants interviennent dans l'évaluation du niveau de performance énergétique « Ew ».

« Le règlement prescrit en principe une **approche du coût complet** pour les constructions nouvelles ainsi que les rénovations lourdes. Cela signifie que, lors de l'évaluation de chaque mesure/groupe/variante appliquée à un bâtiment de référence, il faut calculer le coût total de la construction (ou de la rénovation lourde) et de l'utilisation ultérieure du bâtiment. » Certains éléments de coûts (invariant) peuvent toutefois être omis étant donné que le but est de comparer les mesures/groupes/variantes. Cependant, l'approche retenue dans la présente étude s'oriente plutôt vers une évaluation des coûts globaux pour l'investisseur ou l'utilisateur du bâtiment en y incluant les coûts suivants :

- coûts liés à des éléments du bâti qui n'ont pas d'incidence sur la performance énergétique du bâtiment, par exemple coût du revêtement de sol, coût du parement des murs, ...
- coûts identiques de toutes les mesures/groupes/variantes évaluées pour un bâtiment de référence, tels que ceux liés à la préparation/l'installation du chantier,...

A noter que les exigences de performance appliquées aux bâtiments (et leurs coûts respectifs) ne diffèrent pas selon qu'ils sont loués ou non, car le statut de l'occupant est indépendant du bâtiment, qui est au centre du calcul.

1.2. Hypothèses secteur résidentiel | secteur tertiaire

Les quantités de matériaux prévues pour les bâtiments tertiaires sont supérieures à celles prévues pour les bâtiments résidentiels, ce qui a un impact sur les coûts. Il résulte d'une comparaison des coûts effectuée pour divers matériaux utilisés dans les deux secteurs que ceux appliqués aux bâtiments tertiaires sont en moyenne 20 % inférieurs par rapport aux bâtiments résidentiels.

1.3. Tableau récapitulatif

Le tableau ci-dessous récapitule les coûts pris en compte pour chaque bâtiment en fonction du secteur et de son ancienneté.

TYPE DE BÂTIMENT	SECTEUR			
	RÉSIDENTIEL		TERTIAIRE	
	B.E.	B.N.	B.E.	B.N.
	C.M.	C.M. + C.S.	C.M. -(20%.C.M.)	C.M.-(20%.C.M.)+C.S.
ME1	X			
ME2	X			
MN1		X		
MN2		X		
AE1	X			
AE2	X			
AN		X		
BE1			X	
BE2			X	
BN				X
EE1			X	
EE2			X	
EN				X

Tableau 1 - Tableau récapitulatif des coûts considérés par bâtiment

B.E. = Bâtiment Existant

B.N. = Bâtiment Neuf

C.M. = Coût Matériaux (fourniture + main d'œuvre)

C.S. = Coût Systèmes (fourniture + main d'œuvre)

Pour rappel,

ME = Maison Existante

MN = Maison Neuve

AE = Appartement Existant

AN = Appartement Neuf

BE = Bureau Existant

BN = Bureau Neuf

EE = Enseignement Existant

EN = Enseignement Neuf

2 Matériaux constitutifs de l'enveloppe

2.1. Méthodologie générale

L'enveloppe des bâtiments est décomposée en une série d'éléments constructifs distincts : chaque paroi constituant l'enveloppe, à savoir les parois opaques, les fenêtres (vitrage seul ou châssis et vitrage), le plancher et la toiture est dissociée par **couches**, telles que : l'isolant, le revêtement, la structure, l'étanchéité,...

Une série de coûts provenant de plusieurs sources est répertoriée pour une seule et même couche. Ces coûts permettent d'obtenir une moyenne des prix pratiqués sur le marché en 2012. Cette moyenne est utilisée pour effectuer le calcul du coût total d'investissement initial de chaque paroi modifiée dans les différentes mesures/groupes/variantes.

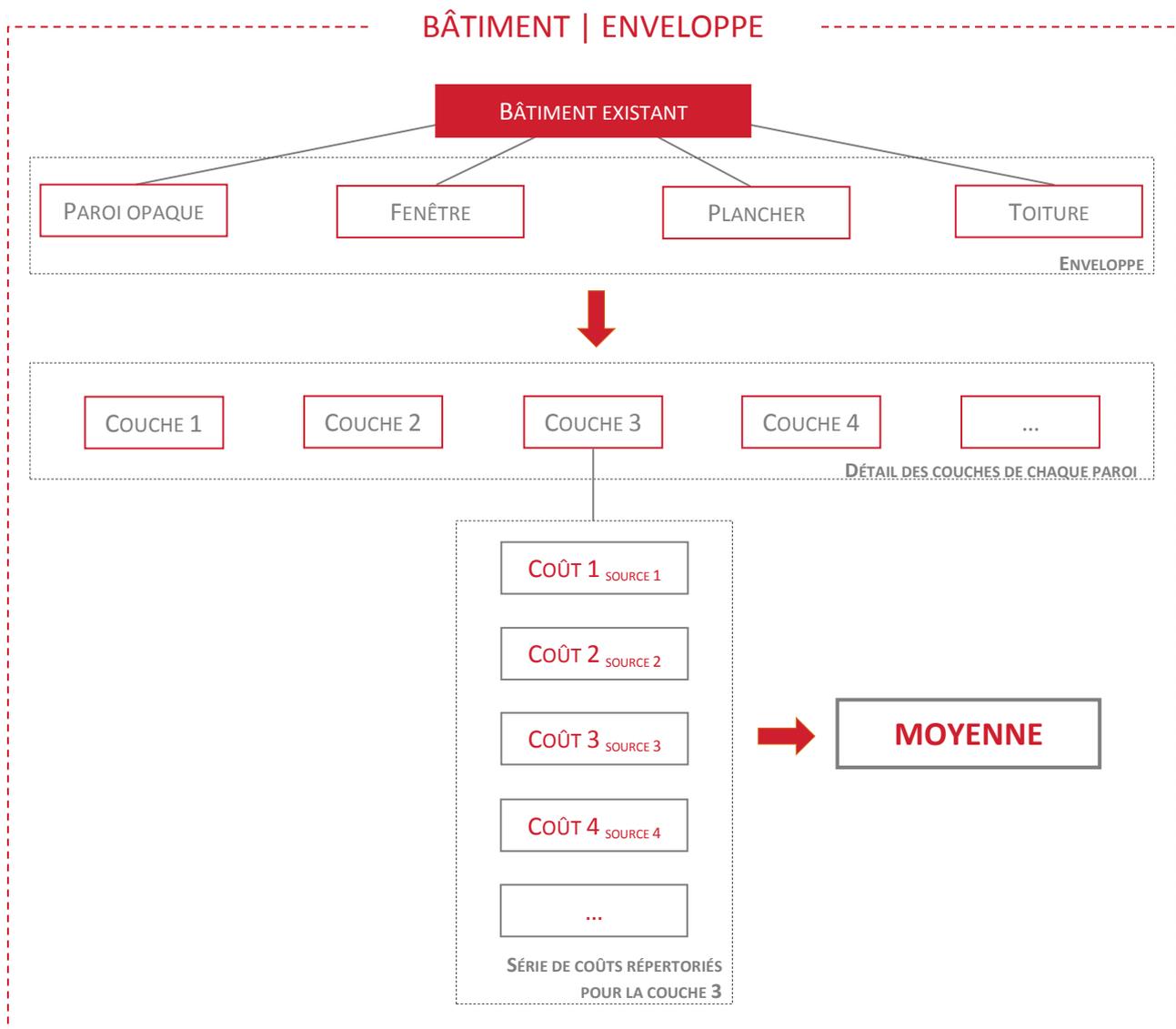


Figure 2 - Méthodologie générale de détermination du coût des parois de l'enveloppe

Le coût de la main d'œuvre est dissocié du coût du matériau isolant. Pour les autres coûts relatifs à des éléments fixes (revêtements, finitions,..), le coût de la main d'œuvre n'est pas dissocié mais inclus dans le coût de la fourniture ou du matériau. Il faut noter que les coûts sont donnés hors TVA.

2.2. Catégories et couches des parois de l'enveloppe

Les bâtiments de référence sont divisés en éléments spécifiques : les **parois de l'enveloppe**. Elles sont divisées en quatre grandes catégories: la toiture, la dalle de sol, le mur et la fenêtre. Chacune de ces catégories présentent une multitude de sous-éléments, les **couches** constituant chaque paroi de l'enveloppe dans les cas d'un bâtiment rénové et d'un bâtiment neuf.

TOITURE

RÉNOVATION

TOITURE PLATE | BÂTIMENTS : ME1, AE1, AE2, EE1, EE2, GBE, PBE

- Etanchéité (nettoyage)
- Pare-vapeur
- Isolation | toiture plate
- Couverture | toiture plate
- Couverture | toiture plate (lestage)

Remarques : l'isolant est placé du côté extérieur et est recouvert par une nouvelle étanchéité.

NEUF

TOITURE PLATE | BÂTIMENTS : EN,NB

- Couverture | toiture plate
- Couverture | toiture plate (lestage)
- Sous-toiture
- Structure | toiture plate
- Isolation | toiture plate
- Pare-vapeur
- Finition intérieure

TOITURE INCLINÉE | BÂTIMENTS : ME1, ME2, AE1, EE1

- Isolation | toiture inclinée
- Pare-vapeur
- Finition intérieure

Remarques : l'isolant est placé du côté intérieur, entre la structure en bois de la toiture et est recouvert d'une plaque de plâtre.

TOITURE INCLINÉE | BÂTIMENTS : MN1, MN2, AN

- Couverture | toiture inclinée
- Sous-toiture
- Structure | toiture inclinée
- Isolation | toiture inclinée
- Pare-vapeur
- Finition intérieure

PLANCHER DES COMBLES (ISOLATION) | BÂTIMENTS : ME1, ME2, EE1

- Revêtement du plancher (dépose + pose)
- Isolation du plancher des combles

Remarques : l'isolant est placé du côté du grenier, posé entre les gîtes du plancher et est recouvert d'un revêtement.

DALLE DE SOL

RÉNOVATION

DALLE SUR SOL | BÂTIMENTS : ME2, AE1, AE2, EE1, EE2, PBE, GBE

- Revêtement + chape (dépose)
- Isolation sur sol
- Chape
- Revêtement

Remarques : enlever le revêtement de sol existant, creuser un peu dans la chape, placer l'isolant enfin mettre le nouveau revêtement de sol.

NEUF

DALLE | BÂTIMENTS : MN1, MN2, AN, EN, NB

- Isolation sur sol
- Chape ou structure bois
- Revêtement

DALLE SUR CAVE | BÂTIMENTS : ME1, AE1, AE2, EE1

- Isolation | par plafond de cave

Remarques : l'isolant est placé du côté de la cave par fixation dans le plafond (mise en œuvre assez facile).

MUR**RÉNOVATION****MUR MAÇONNERIE (ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR) |****BÂTIMENTS : ME1, ME2, AE1, AE2, EE1, PBE, GBE**

- Isolation par l'extérieur | préparation de la surface
- Isolation par l'extérieur | pose par collage OU Isolation par l'extérieur | pose par fixations mécaniques
- Parement extérieur | sur ossature OU Parement extérieur | crépis sur isolation collée

Remarques : Dans le cas d'une isolation posée par fixations mécaniques, le nombre de fixations par m² au mur existant est précisé (5 fixations/m²).

MUR (ISOLATION PAR L'INTÉRIEUR) | BÂTIMENTS : ME1, ME2, AE1, EE1, EE2, PBE, GBE

- Isolation par l'intérieur
- Parement intérieur

Remarques : l'isolant est placé dans une cloison de doublage du côté intérieur (métal stud ou bois) et recouvert d'un parement intérieur.

NEUF**MUR MAÇONNERIE | BÂTIMENTS : MN1, AN, EN, NB**

- Parement extérieur | sur ossature OU Parement extérieur | crépis sur isolation collée
- Isolation par l'extérieur | pose par collage OU Isolation par l'extérieur | pose par fixations mécaniques
- Maçonnerie/mur de béton
- Parement intérieur

MUR OSSATURE BOIS | BÂTIMENTS : MN2

- Parement extérieur | sur ossature OU Parement extérieur | crépis sur isolation collée
- Isolation dans l'ossature
- Ossature
- Parement intérieur

FENÊTRE**RÉNOVATION****VITRAGE | BÂTIMENTS : ME1, ME2, AE1, AE2, EE1, EE2, PBE, GBE**

- Dépose du vitrage
- Double vitrage | Ug 1.3
- Double vitrage | Ug 1.1 - 1.0
- Double vitrage | verre solaire – g=0.38
- Triple vitrage | Ug 0.6

Remarques : enlever le revêtement de sol existant, creuser un peu dans la chape, placer l'isolant enfin mettre le nouveau revêtement de sol.

NEUF**VITRAGE | BÂTIMENTS : AN, EN, NB**

- Double vitrage | Ug 1.3
- Double vitrage | Ug 1.1 - 1.0
- Double vitrage | verre solaire – g=0.38
- Triple vitrage | Ug 0.6

CHÂSSIS | BÂTIMENTS : ME1, ME2, AE1, AE2, EE1, EE2, PBE, GBE

- Dépose du châssis
- Châssis bois | vitrage exclu
- Châssis PVC | vitrage exclu
- Châssis aluminium | vitrage exclu
- Châssis bois-aluminium | vitrage exclu
- Portes
- Exutoires

Remarques : l'isolant est placé du côté de la cave par fixation dans le plafond (mise en œuvre assez facile).

CHÂSSIS | BÂTIMENTS : AN, EN, NB

- Châssis bois | vitrage exclu
- Châssis PVC | vitrage exclu
- Châssis aluminium | vitrage exclu
- Châssis bois-aluminium | vitrage exclu
- Portes
- Exutoires

Le coût d'une couche constituant une paroi est la moyenne d'une série de coûts provenant de diverses sources. L'exemple ci-dessous répertorie le coût de la couche « Parement extérieur | sur ossature » de la paroi « Mur » de l'enveloppe.

Données d'entrée enveloppe			
Coûts des matériaux			
Parois	Type	Coût HTVA Fourniture + main d'œuvre [€/m ²]	Unité
MUR			
neuf			
Parement extérieur sur ossature	Brique (terre cuite), Moellon, Bois, Maçonnerie classique, Fibre ciment, Maçonnerie collée		
<i>Parement</i>	Brique (terre cuite)	20,5	m ²
<i>Parement</i>	Moellon	197,5	m ²
<i>Parement</i>	Bois	8,14	m ²
<i>Parement</i>	Fibre ciment	44	m ²
<i>Parement</i>	Tuiles en terre cuite + fixation	46,3	m ²
<i>Parement</i>	Eco-brick maçonné	55	m ²
<i>Parement</i>	Eco-brick collé	60	m ²
<i>Parement</i>	Façatille (tuile pour façade) + fixation	52,4	m ²
<i>Parement</i>	Maçonnerie classique	122,425	m ²
<i>Parement</i>	Maçonnerie collée	134	m ²
<i>Parement</i>	Etics plaquettes STO (*)	114	m ²
<i>Parement</i>	Argeton + fixation	71,47	m ²
MOYENNE	Parement extérieur sur ossature	77,14	m²
Min.		8,14	m ²
Max.		197,50	m ²

Tableau 2 - Détail des coûts du parement extérieur sur ossature d'une paroi de type « Mur »

Les types de parement sont listés avec leurs coûts respectifs. Ils proviennent de diverses sources décrites en annexe 9.3, telles que d'ouvrages où figurent des prix indicatifs, de bases de données, de fabricants,... Une moyenne est ensuite calculée pour cette couche. Le coût minimal (appelé « Min. » dans le tableau) et le coût maximal (appelé « Max » dans le tableau) sont mentionnés en-dessous du coût moyen (appelé « **MOYENNE** » dans le tableau) de chaque élément.

Le tableau final utilisé pour le calcul du coût total d'investissement initial de cette couche est présenté ci-après. Le coût est donné, hors TVA, en €/unité où l'unité est généralement exprimée en m².

Données d'entrée enveloppe			
Coûts des matériaux			
Parois	Type	Coût HTVA Fourniture + main d'œuvre [€/m ²]	Unité
MUR			
neuf			
Parement extérieur sur ossature	Brique (terre cuite), Moellon, Bois, Maçonnerie classique, Fibre ciment, Maçonnerie collée		
MOYENNE	Parement extérieur sur ossature	77,14	m²
Min		8,14	m ²
Max		197,50	m ²

Tableau 3 - Coût moyen retenu pour le parement extérieur sur ossature d'une paroi de type « Mur »

Le procédé décrit ci-avant est appliqué à toutes les couches composant les parois de l'enveloppe. Les tableaux des coûts relatifs à chaque couche sont présentés à l'annexe 9.1.

2.3. Méthode de calcul | coûts de la couche « Isolation »

2.3.1 Variantes de départ

Les coûts relatifs à l'isolation d'une paroi sont récoltés, hors TVA, en [€/unité] où l'unité est généralement la surface en [m²]. Les isolants et leurs caractéristiques respectives (conductivités thermiques, épaisseurs et coûts) sont dans un premier temps classés en fonction des matériaux et/ou de leurs techniques de mise en œuvre. Il s'agit des « Types d'isolation ». Chaque type d'isolation est divisé en quatre tranches d'épaisseur. Le coût 'final' de la couche « Isolation » d'une paroi qui est utilisé dans le calcul des coûts des mesures est donné en [€/m²/cm d'épaisseur]. Ce coût est uniquement fonction de la tranche d'épaisseur et non des matériaux isolants utilisés. Les points suivants décrivent la méthode de détermination du coût total de la fourniture ET de la mise en œuvre de l'isolant. Le coût de la fourniture et le coût de la mise en œuvre sont donc additionnés au préalable dans la méthode ci-dessous ; le coût total étant indiqué dans les colonnes « Coût HTVA ».

2.3.2 Pondération des mesures d'isolation

Les matériaux d'isolation et leurs techniques de mise en œuvre, appelés « **Types d'isolation** » dans la suite, sont variés. La méthode adoptée consiste à trier les isolants récoltés par type d'isolation et à pondérer les conductivités thermiques (λ [W/mK]) et leurs coûts respectifs en fonction de la

fréquence d'utilisation des techniques les plus courantes. Ceci afin d'obtenir un matériau de référence, résultant de la fréquence d'utilisation des différentes techniques disponibles.

Le tableau ci-dessous présente l'approche utilisée pour le calcul d'une conductivité thermique moyenne, λ_{moyen} [W/mK] et d'un coût moyen, $\text{Coût}_{\text{moyen}}$ [€/m²] de différentes techniques d'isolation d'une des parois de l'enveloppe.

TYPE D'ISOLATION	λ [W/mK]	Coût HTVA [€/m ²]/cm d'épaisseur	FRÉQUENCE D'UTILISATION
Type A	0,0375	8,8	35%
Type B	0,04	9,3	25%
Type C	0,027	10,5	20%
Type D	0,033	10,1	20%
MOYENNE PONDÉRÉE	0,035	9,52	

Tableau 4 - Méthode de calcul du coût moyen par cm d'épaisseur d'isolant en fonction des types d'isolation et de leur fréquence d'utilisation

La moyenne pondérée est calculée comme suit :

$$\begin{aligned} \lambda &= (\lambda_A * \text{Fréquence}_A) + (\lambda_B * \text{Fréquence}_B) + (\lambda_C * \text{Fréquence}_C) + (\lambda_D * \text{Fréquence}_D) \\ &= (0,0375 \times 35 \%) + (0,04 \times 25 \%) + (0,027 \times 20 \%) + (0,033 \times 20 \%) \\ &= 0,035 \text{ W/mK} \end{aligned}$$

La même méthode est appliquée pour le coût moyen (HTVA) :

$$\begin{aligned} \text{Coût}_{\text{moyen/cm}} &= (\text{Coût}_{A/cm} * \text{Fréquence}_A) + (\text{Coût}_{B/cm} * \text{Fréquence}_B) \\ &\quad + (\text{Coût}_{C/cm} * \text{Fréquence}_C) + (\text{Coût}_{D/cm} * \text{Fréquence}_D) \\ &= (8,8 \times 35 \%) + (9,3 \times 25 \%) \\ &\quad + (10,5 \times 20 \%) + (10,1 \times 20 \%) \\ &= 9,52 \text{ (€/m}^2\text{)/cm d'épaisseur} \end{aligned}$$

2.3.3 Calcul du coût moyen par tranche d'épaisseur

Les coûts de la main d'œuvre diffèrent d'une épaisseur d'isolant à une autre. Afin de tenir compte de cette variation, **quatre tranches d'épaisseurs** sont définies :

1. Isolant ≤ 10 cm
2. $10 \text{ cm} < \text{Isolant} \leq 15$ cm
3. $15 \text{ cm} < \text{Isolant} \leq 20$ cm
4. $20 \text{ cm} < \text{Isolant}$

Les coûts récoltés, hors TVA, en [€/m²] pour la fourniture de l'isolant et la main d'œuvre liée à la pose de l'isolant sont classés par tranche d'épaisseur pour un type d'isolation. Ils sont ensuite divisés par leur épaisseur pour obtenir le coût en [€/m²/cm d'épaisseur] et pondérés par leur fréquence d'utilisation (comme expliqué ci-dessus). Les fréquences d'utilisation de matériaux sont fonctions des techniques de mise en œuvre rencontrées ces dernières années ; elles sont déterminées en concertation avec l'industrie de construction.

2.3.4 Calcul du coût de la couche « Isolation » par surface de paroi

Le coût moyen des isolants est calculé par cm d'épaisseur de l'isolant. Il est extrapolé pour chaque mesure étudiée en fonction de l'épaisseur nécessaire. Cette dernière dépend de la conductivité thermique moyenne, λ_{moyen} , calculée pour obtenir le U visé et ce, quel que soit le matériau isolant utilisé. Le tableau ci-après illustre le calcul du coût de la couche « Isolation » par unité de surface d'une paroi constitutive de l'enveloppe du bâtiment, effectué pour quatre mesures. Le coût moyen en [€/m²/cm d'épaisseur] et la conductivité thermique moyenne correspondent aux valeurs calculées pour la tranche d'épaisseur 1 (Isolant ≤ 10 cm).

COUCHE « ISOLATION » D'UNE PAROI DE L'ENVELOPPE				
MESURES ÉTUDIÉES	λ_{moyen} [W/MK]	COÛT _{MOYEN} HTVA [€/M ²]/CM D'ÉPAISSEUR	EPAISSEUR [CM]	COÛT _{ISOLANT} HTVA [€/M ²]
Mesure 1	0,035	9,52	5,9	56,17
Mesure 2	0,035	9,52	6,5	61,88
Mesure 3	0,035	9,52	7,7	73,30
Mesure 4	0,035	9,52	8,3	79,02

Tableau 5 - Méthode de calcul du prix de la couche « Isolation » par unité de surface de paroi

Pour la mesure 1 par exemple, le coût de la couche « Isolation » par unité de surface d'une paroi est calculé de manière générale :

$$\text{Coût}_{\text{isolant}} = \text{Coût}_{\text{moyen/cm}} * \text{Epaisseur}$$

$$= 9,52 \times 5,9$$

$$= 56,17 \text{ (€/m}^2\text{)}$$

Il suffit alors de multiplier ce coût par la surface de la paroi étudiée et de l'additionner aux coûts des autres couches composant la paroi afin d'obtenir le coût total de la paroi.

2.3.5 Tableau récapitulatif

Le tableau ci-dessous récapitule la méthode générale utilisée pour la détermination du coût (de la fourniture et de la main d'œuvre) par tranche, exprimé en [€/m²/cm d'épaisseur], tous types d'isolation confondus.

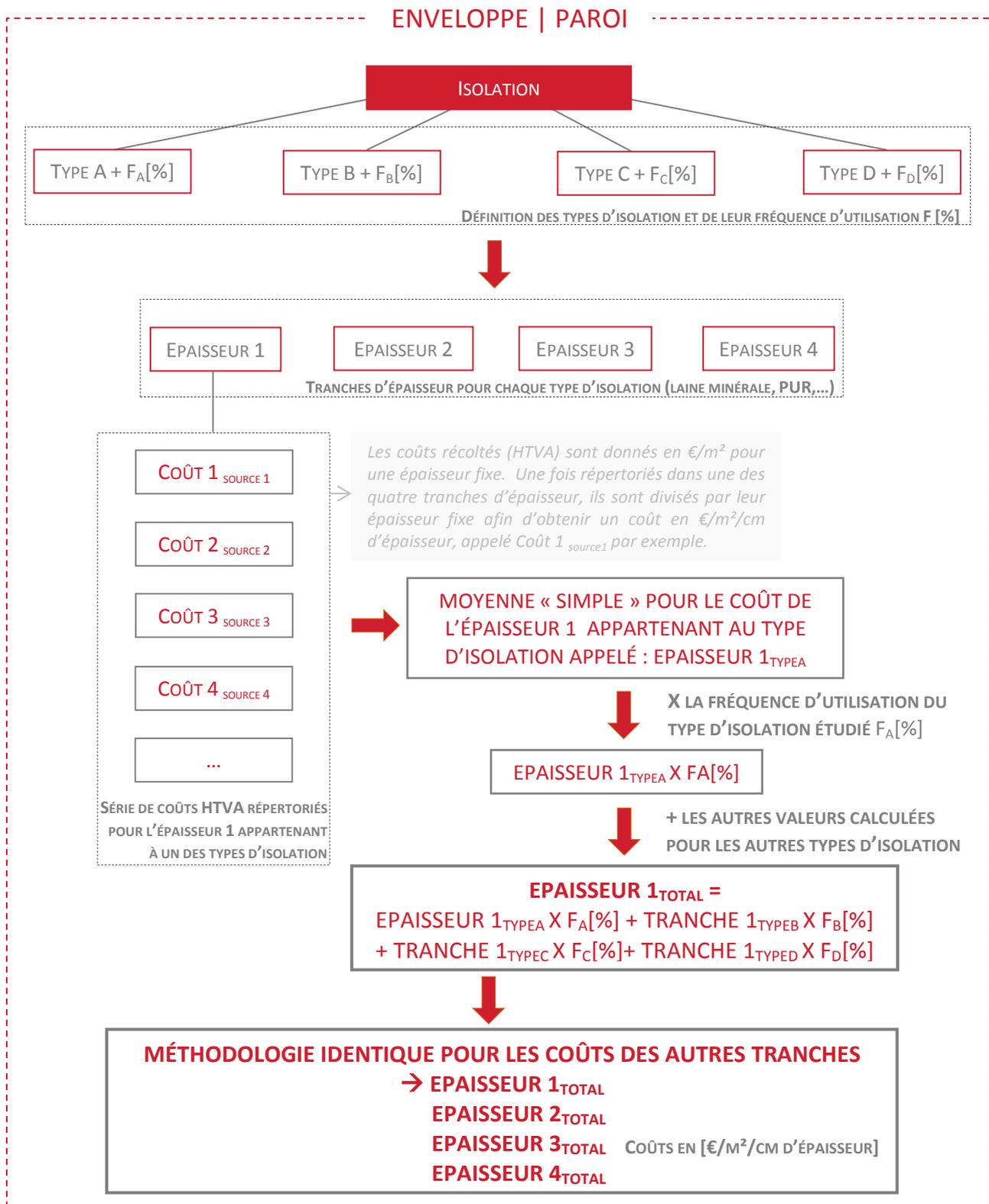


Figure 3 - Méthodologie générale de détermination du coût des matériaux isolants de l'enveloppe

Le résultat détaillé est présenté sous forme de tableau tel que celui de l'exemple ci-dessous, où l'on distingue des coûts de fourniture et de main d'œuvre différents pour chaque tranche d'épaisseur. Quand une épaisseur calculée en fonction du U à atteindre est supérieure (ou inférieure) aux tranches d'épaisseur déterminées, il faut considérer que cette épaisseur est atteinte en combinant deux tranches identiques (ou en divisant la tranche de plus faible épaisseur) par exemple.

Données d'entrée enveloppe								
Coûts des matériaux								
Parois	Type	Épaisseur [m]	λ [W/mK]	Résistance thermique [m ² K/W]	Coût HTVA Fourniture [€/unité]	Coût HTVA Main d'œuvre [€/unité]	Unité	Fréquence d'utilisation [%] (si plusieurs types)
TOITURE								
Neuf								
Isolation toiture plate	LM*, PUR							
Toiture plate	PUR	0,081	0,027	3,00	22,09	5,91	m ²	60%
Toiture plate	PUR	0,1	0,027	3,70	26,9	7,1	m ²	60%
Toiture plate	PUR	0,12	0,027	4,44	32,96	7,04	m ²	60%
Toiture plate	PUR	0,14	0,027	5,19	38	8	m ²	60%
Toiture plate	PUR	0,16	0,027	5,93	40	8	m ²	60%
1. Isolant ≤ 10 cm	PUR	0,09	0,027	3,35	24,50	6,51	m ²	60%
2. 10 cm < isolant ≤ 15 cm	PUR	0,13	0,027	4,81	35,48	7,52	m ²	60%
3. 15 cm < isolant ≤ 20 cm	PUR	0,16	0,027	5,93	40,00	8,00	m ²	60%
4. 20 cm < isolant	PUR	-	-	-	-	-	m ²	60%
Toiture plate	LM	0,08	0,0375	2,13	17,32	6	m ²	40%
Toiture plate	LM	0,10	0,0375	2,67	20,36	7,1	m ²	40%
Toiture plate	LM	0,12	0,0375	3,00	24,08	7,04	m ²	40%
Toiture plate	LM	0,16	0,0375	4,27	32	8	m ²	40%
1. Isolant ≤ 10 cm	LM	0,09	0,0375	2,40	18,84	6,55	m ²	40%
2. 10 cm < isolant ≤ 15 cm	LM	0,12	0,0375	3,00	24,08	7,04	m ²	40%
3. 15 cm < isolant ≤ 20 cm	LM	0,16	0,0375	4,27	32,00	8,00	m ²	40%
4. 20 cm < isolant	LM	-	-	-	-	-	m ²	40%
1. Isolant ≤ 10 cm	LM, PUR	0,09	0,0312	2,97	22,23	6,52	m ²	
2. 10 cm < isolant ≤ 15 cm	LM, PUR	0,13 ²	0,0312 ³	4,09	30,92	7,33 ⁴	m ²	
3. 15 cm < isolant ≤ 20 cm	LM, PUR	0,16	0,0312	5,26	36,80	8,00	m ²	
Min	LM, PUR				17,32	5,91	m ²	
Max	LM, PUR				40,00	8,00	m ²	

*LM = Laine Minérale

1

Tableau 6 - Détails des coûts de l'isolation d'une paroi de type « Toiture plate »

Exemple :

1. Liste des matériaux répertoriés et triés pour l'isolation de la toiture plate. Chaque caractéristique du matériau (épaisseur, conductivité thermique, coût de la fourniture et coût de la main d'œuvre) est pondérée selon la fréquence d'utilisation du matériau.
2. Epaisseur moyenne des matériaux calculée pour la tranche d'épaisseur 2 « 10 cm < isolant ≤ 15 cm » en pondérant suivant la fréquence d'utilisation de chaque matériau. L'épaisseur moyenne est de 0,13 m.
3. Conductivité thermique moyenne (λ_{moyen}) des matériaux calculée pour la tranche d'épaisseur 2 « 10 cm < isolant ≤ 15 cm » en pondérant suivant la fréquence d'utilisation de chaque matériau. La conductivité thermique moyenne est de 0.0312 W/mK.
4. Coût moyen des matériaux calculé pour la tranche d'épaisseur 2 « 10 cm < isolant ≤ 15 cm » en pondérant suivant la fréquence d'utilisation de chaque matériau et ce, en distinguant le coût de la fourniture de celui de la main d'œuvre.

Ci-dessous, le tableau récapitulatif utilisé dans le calcul des coûts relatifs aux mesures étudiées. Ce tableau reprend les quatre points expliqués ci-avant ainsi que le point suivant:

5. Calcul des coûts moyens de fourniture et main d'œuvre par cm d'épaisseur d'isolant. Par exemple, pour la tranche d'épaisseur 2 « 10 cm < isolant ≤ 15 cm », le calcul est le suivant : 30.92 [€/m² de surface] / 13 [cm d'épaisseur] = 2.45 €/m²/cm.

Données d'entrée enveloppe										
Coûts des matériaux										
Parois	Type	Epaisseur [m]	λ [W/mK]	Résistance thermique [m ² K/W]	Coût HTVA Fourniture [€/unité]	Coût HTVA Main d'œuvre [€/unité]	Unité	Coût HTVA Fourniture par cm d'épaisseur [€/m ² /cm]	Coût HTVA Main d'œuvre par épaisseur [€/m ² /cm]	
TOITURE										
Neuf										
Isolation toiture plate		MW, PUR								
1.	Isolant ≤ 10 cm	MW, PUR	0,09	0,0312	2,97	22,23	6,52	m ²	2,46	0,72
2.	10 cm < isolant ≤ 15 cm	MW, PUR	0,13	0,0312	4,09	30,92	7,33	m ²	2,45	0,58 ⁵
3.	15 cm < isolant ≤ 20 cm	MW, PUR	0,16	0,0312	5,26	36,80	8,00	m ²	2,30	0,50
Min		MW, PUR				17,32	5,91	m ²		
Max		MW, PUR				40,00	8,00	m ²		

Tableau 7 - Coût moyen retenu pour l'isolation d'une paroi de type « Toiture plate »

2.4. Paquets de coûts Enveloppe | présentation générale

Le tableau ci-dessous synthétise les coûts par m² pour chaque variante étudiée. La variante concerne la rénovation d'une toiture plate de 21,6 m² de surface. Le coût HORS TAXES, TVA ET REDEVANCE en [€/m²] résultent de l'addition des coûts suivants :

- coût fourniture isolant en [€/m²/cm d'ép.] → [€/m²/cm d'ép.] * épaisseur → [€/m²] ;
- coût main d'œuvre isolant en [€/m²/cm d'ép.] → [€/m²/cm d'ép.] * épaisseur → [€/m²] ;
- coût du pare-vapeur en [€/m²] ;
- coût de la feuille de bitume élastomère en [€/m²] ;
- coût du lestage et de sa mise en œuvre en [€/m²].

Un supplément équivalent à 7 % de ce coût total est ajouté afin tenir compte de l'installation du chantier (échafaudages,...).

La dernière colonne du calcul prend en compte les taxes, TVA et redevances.

VARIANTES	TYPES DE PAROIS	LAMBDA MOYEN ISOLANT [W/mK]	EPAISSEUR ISOLANT [cm]	COÛT	COÛT	
				HORS TAXES, TVA, REDEVANCES (HORS CHANTIER) [€/m ²]	HORS TAXES, TVA, REDEVANCES [€/m ²]	TAXES, TVA, REDEVANCES [€/m ²]
U=0,27	Nouvelle isolation extérieure sur dalle béton	0,0312	9,66	75,20	80,46	97,36
U=0,24		0,0312	11,1	78,13	83,60	101,15
U=0,2		0,0312	13,7	86,02	92,04	111,37
U=0,15		0,0312	18,9	97,36	104,17	126,05
REMARQUES	L'isolant est placé du côté extérieur et est recouvert par une nouvelle étanchéité.					

Tableau 8 - Coûts par m² retenus pour chaque variante relative à la rénovation d'une toiture plate

3 Mise en œuvre de l'étanchéité à l'air | bâtiment neufs

Trois débits de fuite par unité de surface sont considérés pour les bâtiments neufs :

- 4m³/h.m² - obtenu facilement pour une mise en œuvre classique dans le cas d'une construction neuve ;
- 3m³/h.m² - obtenu par une mise en œuvre classique réalisée avec une attention particulière pour la pose des châssis dans le cas d'une construction neuve ;
- 2m³/h.m² - alternative améliorée résultant d'une attention poussée tant au niveau de la mise en œuvre des châssis que des finitions des parois extérieures.

La recherche d'une étanchéité à l'air correcte ne nécessite pas de réel surinvestissement. L'augmentation du coût de la construction résulte du temps consacré à la conception du bâtiment, aux finitions soignées lors de la mise en œuvre et aux éventuelles corrections réalisées suite au test d'étanchéité.

Les coûts considérés prennent en compte l'investissement supplémentaire du temps lié à la mise en œuvre (châssis, finitions, recherche de fuites), les coûts du matériel supplémentaire (membranes et rubans étanches, joints entre châssis-baies) et les coûts d'analyse (test d'infiltrométrie).

Les hypothèses suivantes ont été considérées pour le calcul des surcoûts de chaque variante :

- dans le premier cas, seul un test d'étanchéité est comptabilisé, sans temps supplémentaire consacré aux finitions ;
- dans le deuxième cas, une attention plus particulière est consacrée aux châssis et finitions de parois extérieures (jonctions) et un coût moyen basé sur différentes études de cas est appliqué aux surfaces de déperditions ;
- dans le troisième cas, une attention plus poussée est considérée sur l'ensemble des finitions châssis et parois extérieures et un coût moyen plus élevé est également appliqué aux surfaces de déperditions.

4 Systèmes & composants

4.1 Méthodologie générale

La méthodologie suivie est similaire à celle adoptée pour l'enveloppe: une série de coûts est récoltée et triée en fonction du type de système. Ces coûts sont basés sur des projets récents, sur base d'offres fournies par différents installateurs, et comprennent la fourniture et le placement des différents systèmes considérés.

Étant donné que les prix des systèmes n'évoluent pas de manière linéaire, la base de données de coûts a servi à tracer une courbe tendancielle, dont on déduit des coûts spécifiques pour différents systèmes. Le graphique ci-dessous donne un aperçu de la méthode, utilisée pour estimer le coût de systèmes non domestiques. Elle est, dès lors, uniquement appliquée aux systèmes HVAC équipant les bureaux et les écoles.

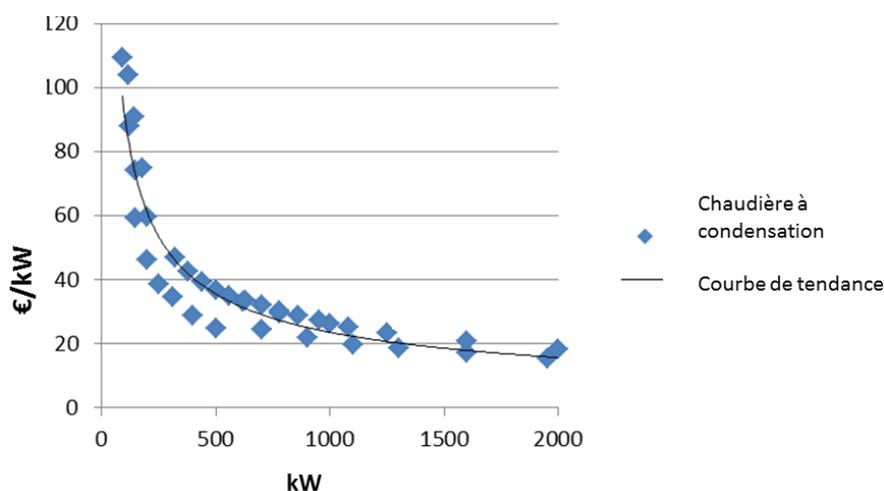


Figure 4 - Exemple de calcul de coûts d'un générateur de chaleur

Pour le résidentiel, la variété de systèmes et de dimensionnements est nettement moindre. Sur base des différents prix récoltés, des moyennes ont été établies pour les systèmes les plus couramment utilisés (par exemple : chaudières modulantes de 10-30kW, VMC 350m³/h).

Pour chacun des bâtiments de référence, un dimensionnement spécifique est réalisé pour chaque système en fonction des variantes étudiées. Ceci permet de calculer le coût des systèmes adaptés à la situation analysée.

Pour les générateurs de chaleur et froid en particulier, les mesures liées à l'enveloppe du bâtiment auront un impact sur le dimensionnement du système. Pour ces systèmes, un dimensionnement est donc effectué pour chaque variante d'isolation du bâtiment.

Les coûts de systèmes sont calculés en prenant en considération :

- le coût du système (composantes incluses);
- les coûts d'installation ;
- les coûts de conception ;
- les coûts de démolition et de remplacement.

Le coût des appareils, y compris le **coût d'installation**, est basé sur des métrés soumis en réponse à des appels d'offres et sur des données obtenues auprès de fabricants.

Le coût de conception est indépendant de la technologie ; il est calculé de la même manière pour chaque type de système HVAC, sur base des derniers barèmes de coûts fournis par les fédérations d'ingénieurs (FABI/KVIV/UFIIB).

Les coûts de démolition et le remplacement d'un système technique peut augmenter considérablement en fonction de la facilité d'accès aux différents équipements. Pour rendre les mesures comparables, il est supposé que l'accessibilité est optimale dans chaque bâtiment. Une distinction est néanmoins effectuée selon la technique considérée.

4.2 Présentation des catégories

CHAUDIÈRE

NEUF

- Gaz 10-30 kW
- Fioul 10-30 kW
- Gaz à condensation > 50 kW
- Biomasse < 30 kW
- Biomasse > 30 kW
- Local
- Cogénération gaz

VENTILATION

NEUF

- Ventilation résidentielle
- Ventilation tertiaire

REFROIDISSEMENT

NEUF

- Groupe de froid à compression (tertiaire)
- PAC Air/eau réversible (tertiaire)
- PAC Sol/eau réversible (tertiaire)

PAC

NEUF

- Air/eau monobloc
- Sol/eau résidentiel
- Sol/eau + sonde géothermique (> 50 kW)
- Air/eau > 50 kW
- Air/air

PROTECTION SOLAIRE

NEUF

- Intérieure
- Extérieure dynamique
- Contrôle de protection solaire dynamique

EQUIPEMENTS ANNEXES DU CHAUFFAGE**NEUF**

- Conduits de cheminée
- Stockage de mazout/pellets
- Emetteurs de chaleur et thermostats
- Ventilos convecteurs (tertiaire)

ECLAIRAGE**NEUF**

- Détecteur de présence
- Sonde crépusculaire
- Luminaires

ECS**NEUF**

- Réservoir de stockage (couplé à un producteur de chaleur servant aussi au chauffage des locaux)
- Boiler (avec réservoir) indépendant du producteur de chaleur servant au chauffage des locaux
- Chauffe-eau instantané indépendant du producteur de chaleur servant au chauffage des locaux

ER SOLAIRE**NEUF**

- Solaire thermique
- Photovoltaïque

4.3 Systèmes de production et émission de chaleur et de froid

Différents générateurs de chaleur sont considérés : des chaudières (gaz, mazout et biomasse), différents types de pompes à chaleur et des unités de cogénération.

Dans les bâtiments de bureaux, le refroidissement actif par l'utilisation de machines frigorifiques à compression ou de pompes à chaleurs réversibles est pris en compte.

Pour l'ensemble des générateurs de chaleur et de froid considérés, l'impact des mesures d'isolation et des apports solaires a été pris en compte dans le choix de la puissance des générateurs et des émetteurs de chaleur. Ainsi, en fonction de chaque niveau d'isolation atteint par le bâtiment analysé un dimensionnement des générateurs et des émetteurs de chaleur est effectué.

La puissance nécessaire au chauffage est estimée sur base d'un calcul de déperdition de l'enveloppe du bâtiment considéré, réalisé sur base d'outils fournis par la PEB et par *Energie*⁺. Sont pris en compte:

- le volume chauffé [m³];
- la surface déperditive [m²];
- le niveau d'isolation global K;
- les données météo locales;
- la température de consigne intérieure [°C];
- les gains internes;
- les gains solaires.

Le calcul fournit les résultats suivants :

- la température extérieure de base [°C];
- la puissance spécifique à installer [W/m³];
- le besoin net de chaleur/froid [kWh/an];
- **la puissance utile totale à installer [kW].**

Un système de chauffage ou de refroidissement et son coût correspondant est alors choisi dans la liste répertoriée, de manière à garantir **la puissance utile totale à installer** d'après les calculs.

4.3.1 Chaudières

Différentes variantes de chaudières sont considérées, celles-ci affichent les rendements nominaux de combustion sur PCI suivants, représentatifs des chaudières couramment installées :

- chaudière sans condensation au mazout (rendement 90 %) ;
- chaudière à condensation au mazout (rendement 101 %) ;
- chaudière à condensation au gaz (rendement 107 %) ;
- chaudière sans condensation à la biomasse (rendement 92 %).

Les prix sont calculés sur base des puissances telles que décrites dans la méthodologie générale en 4.1. Les prix des installations utilisées dans les calculs et leurs sources respectives sont indiqués en annexe au présent rapport.

4.3.2 Cogénération

Dans la conception d'une cogénération, il est important que le cogénérateur fonctionne durant un nombre d'heures élevé à pleine charge. La raison en est double :

- le nombre de démarrages-arrêts doit être limité. Un grand nombre de démarrages-arrêts se traduit par une augmentation des coûts d'entretien et de réparations et un raccourcissement de la durée de vie.
- le coût d'installation d'une cogénération est relativement élevé. Si le nombre d'heures à pleine charge est limité, l'installation est peu, voire pas rentable.

Pour cette raison, la puissance du cogénérateur est calculée avec l'outil de pré-dimensionnement COGENcalc¹, de façon à assurer un fonctionnement de 3 à 4.000 heures par an à pleine charge. Sur base de la puissance calculée du cogénérateur, un générateur de chaleur secondaire est dimensionné pour fournir l'appoint de chauffe nécessaire pour couvrir la part de la demande en chauffage non couverte par le cogénérateur. On considère dans tous les cas que le générateur secondaire est une chaudière à condensation.

Les rendements des cogénérateurs considérés sont les suivants :

- rendement électrique : 34% ;
- rendement thermique : 52%.

Ceux-ci correspondent aux rendements moyens pour le type de cogénérateur considéré et pour la plage de puissances dimensionnée grâce à COGENcalc et sur base d'informations transmises par le facilitateur cogénération.

Les prix sont calculés sur base des puissances, tel que décrit dans la méthodologie générale en 4.1. Le prix des installations utilisées est indiqué en annexe au présent rapport.

4.3.3 Pompes à chaleur

Plusieurs types de pompes à chaleur sont considérés :

- air/eau monobloc ;

¹ L'outil de calcul COGENcalc.xls est un outil développé en collaboration avec la Région Wallonne, permettant de réaliser le pré dimensionnement d'une cogénération adaptée aux besoins thermiques.

- sol/eau résidentiel ;
- sol/eau + sonde géothermique (> 50 kW) ;
- air/eau > 50 kW ;
- air/air.

Le coefficient de performance (COP) est déterminé selon la norme EN 14511 et fonction de plusieurs paramètres, dont principalement la température d'émission coté condenseur. Des COP d'installations couramment utilisés sont considérés pour estimer la performance typique de ces installations :

- pompe à chaleur air / eau : 3,1 ;
- pompe à chaleur sol / eau : 4,3 ;
- pompe à chaleur eau/ eau : 5,1 ;
- pompe à chaleur air / air: 2,9.

Les prix sont calculés sur base des puissances dimensionnées et appliqués aux coûts moyens spécifiques, tel que décrit dans la méthodologie générale en 4.1.

Pour la pompe à chaleur géothermique, la sonde géothermique fait l'objet d'un dimensionnement à part qui est généralement réalisé en fonction des caractéristiques du sous-sol. Etant donné que les caractéristiques des sols des bâtiments de référence sont inconnues, une qualité de sol moyenne est considérée. Elle correspond à une puissance de la source froide de 45 Watts par mètre de sonde géothermique verticale. Sur base de cette puissance spécifique, la longueur de sonde géothermique est dimensionnée et son prix est calculé.

Le prix des installations utilisées (et leurs sources respectives) est annexé au présent rapport.

4.3.4 Système de refroidissement

Dans les bâtiments tertiaires, un système de refroidissement actif est considéré. Celui-ci est assuré soit par une machine frigorifique à compression, soit par une pompe à chaleur réversible installée pour le chauffage (une seule unité utilisée pour le chauffage et le refroidissement).

Dans les cas des machines frigorifiques à compression, le coefficient d'efficacité frigorifique moyen (Energy Efficiency Ratio ou EERtest) considéré pour les machines à compression est de $EER = 3$, tel que défini selon la norme NBN EN 14511. On considère que les pompes à chaleur ont un EER pour le refroidissement équivalent à leur coefficient de performance pour le chauffage.

Le coût des installations frigorifiques est également calculé sur base des puissances, tel que décrit dans la méthodologie générale en 4.1 et est annexé au présent rapport.

4.3.5 Système d'émission de chaleur et de froid

En fonction des bâtiments de référence et des variantes de systèmes de production de chaleur et de froid, différents systèmes d'émission sont considérés. Pour les bureaux et les écoles, on considère le placement de ventilo-convecteurs permettant également l'émission de froid pour les variantes comprenant un système de refroidissement. Les unités de ventilo-convecteurs sont l'un des systèmes de distribution les plus courants pour le chauffage et la climatisation des bureaux.

Dans les bâtiments résidentiels, les émetteurs considérés sont des radiateurs. Les coûts sont calculés en fonction de la puissance d'émission et basé sur des prix moyens des systèmes d'émissions.

4.4 Systèmes de ventilation

Le dimensionnement du débit des systèmes de ventilation est réalisé conformément aux exigences de la PEB, basées sur le type d'occupation de chaque espace des bâtiments analysés. Un seul dimensionnement est dès lors effectué par bâtiment, étant donné que l'occupation ne varie pas d'une mesure à l'autre.

Pour les bâtiments neufs, on considère qu'un groupe de ventilation double flux avec récupération de chaleur est systématiquement installé. Pour les bâtiments existants, et dans le cas de remplacement de châssis, on considère que des grilles de ventilation sont placées dans les nouveaux châssis. Celles-ci sont également dimensionnées sur base des exigences de ventilation des nouveaux bâtiments.

Les coûts moyens obtenus pour les différents systèmes sont calculés en fonction du débit de ventilation nécessaire à chaque bâtiment.

4.5 Éclairage

Pour les nouveaux bâtiments de bureaux et les écoles, différentes variantes d'éclairage et de systèmes de contrôle et de modulation sont considérées. En base, un éclairage performant est considéré, assurant le respect des conditions de confort et des exigences de performance énergétique. Celui-ci comprend des points lumineux couramment utilisés dans ce type de bâtiment en construction neuve. Pour chaque bâtiment, la puissance des luminaires est calculée en fonction de la surface et du niveau de lux nécessaire dans les différentes zones du bâtiment. Différentes variantes sont appliquées au système d'éclairage, utilisant des sondes de présence, ou de dimming selon le niveau de l'éclairage naturel.

Des coûts moyens sont appliqués aux différents luminaires ainsi qu'aux sondes de détection de présence et de dimming.

4.6 Énergie solaire

Des systèmes solaires photovoltaïques et thermiques sont considérés dans les bâtiments neufs. Pour le système photovoltaïque, tel qu'expliqué dans la note sur les mesure-groupe-variantes, les variantes concernent le taux de couverture de la toiture plate (entre 15-30% et 50%), sur base desquelles la puissance installée est calculée. Le coût de l'installation photovoltaïque est obtenu sur base de la puissance du système et comprend les coûts d'installation et de raccordement. Ce coût est basé sur le prix moyen observé provenant de base de données de projets récents ; il est ensuite adapté pour différentes tranches de puissances d'installation.

Deux variantes de tailles de panneaux solaires thermiques sont considérées pour le résidentiel (4m² et 6m² de capteurs plans vitrés). Un coût moyen obtenu sur base d'installations récentes est utilisé pour le calcul du prix des systèmes.

4.7 Paquets de coûts Systèmes | présentation générale

Le tableau ci-dessous synthétise les coûts de la variante du générateur de chaleur : chaudière à condensation dont la puissance est adaptée à chaque variante d'isolation de l'enveloppe du bâtiment de référence (bureau neuf).

Les coûts calculés prennent en compte le coût de l'unité, les coûts d'installation, les coûts de conception et les coûts de démolition et de remplacement.

VARIANTES	DIMENSIONNEMENT	DESCRIPTION	COÛT	
			HORS TAXES, TVA, REDEVANCES [€/SYSTÈME INSTALLÉ]	TAXES, TVA, REDEVANCES [€/SYSTÈME INSTALLÉ]
CC - 107	107 kW	chaudière au gaz à condensation 107 kW / rendement 107%	9.432	11.412
CC - 93	93 kW	chaudière au gaz à condensation 93 kW / rendement 107%	8.905	10.775
CC - 86	86 kW	chaudière au gaz à condensation 86 kW / rendement 107%	8.624	10.435
CC - 73	73 kW	chaudière au gaz à condensation 73 kW / rendement 107%	8.063	9.756
CC - 63	63 kW	chaudière au gaz à condensation 63 kW / rendement 107%	7.591	9.185

Tableau 9 - Coûts pour la variante de générateur de chaleur : chaudière à condensation de puissances différentes

5 Durée de vie

Afin de calculer le « coûts global » de chaque mesure, une durée de vie spécifique est considérée pour chaque mesure d'isolation et type de système. La durée de vie économique des différentes mesures provient de la norme EN 15459 (relative aux systèmes énergétiques dans les bâtiments), complétée par d'autres normes et/ou des expertises techniques.

5.1 Mesures au niveau de l'enveloppe

Les durées de vie suivantes sont considérées pour les mesures d'isolation de l'enveloppe :

MESURE	DURÉE DE VIE (ANNÉES)	REMARQUE
Isolation du sol	90	Idem durée de vie du bâtiment
Isolation de façade	30	
Isolation de toiture	30	
Fenêtres	30	

Protection solaire	20	
Ponts thermiques	90	Idem durée de vie du bâtiment
Étanchéité à l'air	90	Idem durée de vie du bâtiment

Tableau 10 - Durées de vie des mesures au niveau de l'enveloppe

L'ensemble des durées de vie est repris et référencé en annexe 9.4. Pour certaines mesures tel que l'étanchéité à l'air, la durée de vie n'est pas encore normalisée. Sur base d'études de cas² et sur l'hypothèse que la rénovation de châssis et d'autres mesures d'isolation seront systématiquement réalisées en fin de vie (30 ans), on considère à ce stade que la durée de vie de l'étanchéité à l'air sera équivalente à celle du bâtiment.

5.2 Systèmes

La durée de vie des systèmes est principalement basée sur la norme EN 15459 complétée par des études de cas si nécessaire. Certains systèmes sont décomposés, tel que la pompe à chaleur sol-eau pour laquelle la durée de vie de la sonde géothermique est considéré séparément. L'ensemble des durées de vies est repris et référencé à l'annexe 9.4.

6 Frais d'exploitation et de maintenance

Les coûts liés à l'exploitation et à la maintenance sont pris en compte pour les différentes mesures sur leur durée de vie respective. Ces coûts sont évalués principalement sur base de la norme EN 15459, mais pour les techniques non-référencées dans cette norme, les coûts sont évalués sur base d'étude de cas de projets récents et/ou d'expertises techniques. L'ensemble des frais d'exploitation et de maintenance utilisés est référencé à l'annexe 9.5.

7 Energie

7.1 Coûts de l'énergie

Les coûts de l'énergie utilisés sont fixés sur base des statistiques nationales, mises à jour début mars 2013, et différenciés en fonction de tranches de consommations et donc de la taille du bâtiment. Les coûts utilisés dans les calculs sont repris en Annexe 9.6.

7.2 Scénarios d'évolution des coûts de l'énergie

L'analyse de différentes sources (annexe 9.7) présentant des scénarii d'évolution des prix de l'énergie a montré que :

- les différences peuvent être importantes selon les études³ ;

² -The Variation of Airtightness of. Wood-Frame Houses over an. 11-Year Period. Gary Proskiw, P.Eng. Member ASHRAE.

- Airtightness Performance of Wood-Framed Houses Over a 14-Year Period, Gary Proskiw, P.Eng. Member ASHRAE.

³ EU Energy Trends to 2030, 2009 update; European Energy & Transport, Scenarios for High Oil & Gas, 2006;

- la plupart des études ne sont pas à jour avec le contexte économique actuel (on observe déjà que les scénarii anticipaient une hausse des prix de l'énergie plus importante sur le long terme que celle observée actuellement).

Une approche pragmatique est dès lors proposée, considérant 3 scénarii linéaires, utilisant des valeurs proches de celles observées dans la littérature. Un scénario de stagnation des coûts est considéré comme scénario faible, celui-ci vise essentiellement à nuancer les scénarios moyens et élevés d'évolution des coûts.

SCÉNARIO	ÉVOLUTION DU COÛT DE L'ÉNERGIE PAR AN*
faible - stagnation	0,0%
moyen	1,75%
élevé	3,50%

* hors inflation

Tableau 11 - Evolution du coût de l'énergie suivant trois scénarii

8 Primes, déductions fiscale et TVA

8.1 Primes énergie

Les différents primes et déductions fiscales disponibles en Région Wallonne sont prises en compte dans les calculs des coûts sur la durée de vie des différentes mesures étudiées.

Les primes varient généralement selon le type de bâtiment (résidentiel, tertiaire ou public), le type de travaux (nouvelle construction, rénovation), et certains paramètres techniques de l'objet de la prime (R de l'isolant, isolant naturel, isolation par l'extérieur ou par l'intérieur, etc). Pour chaque bâtiment et variantes, les primes applicables sont calculées sur base du régime de primes de la région Wallonne en 2013, et en tenant compte de plafonds maximum de chaque prime.

Un tableau récapitulatif des primes applicables est présenté en Annexe 0.

8.2 Déduction fiscale

Une réduction d'impôt fédérale est d'application pour les dépenses pour l'isolation du toit. Les règles sont les suivantes :

- la réduction d'impôt pour les dépenses pour l'isolation du toit s'élèvera à 30% des dépenses ;
- le montant maximum de la réduction d'impôt pour les dépenses de l'année 2012 est de 2.930 euros

8.3 Taux réduit de TVA

Les travaux de rénovation et/ou de réparation de d'habitations privées occupées depuis au moins cinq ans peuvent bénéficier d'un taux de TVA de 6 % (au lieu de 21 %). Cet avantage fiscal s'applique à tous les travaux de rénovation et de réparation d'un logement privé.

9 Annexes

9.1 Tableaux de coûts moyens – mesures d'isolation

9.1.1 Toiture

Données d'entrée enveloppe							
Coûts des matériaux							Isolant
Parois	Type	Epaisseur moyenne [m]	λ [W/mK]	Coût HTVA Fourniture (+ main d'œuvre) [€/unité]	Coût HTVA Main d'œuvre [€/unité]	Unité	Coût HTVA Fourniture par cm d'épaisseur [€/cm/m²] Coût HTVA Main d'œuvre par cm d'épaisseur [€/cm/m²]
TOITURE							
Rénovation							
Couverture + latte		Dépose + pour jeter, Dépose + pour réemploi					
<i>MOYENNE</i>							Dépose + pour jeter, Dépose + pour réemploi 10,73 m²
<i>Min</i>							2,04 m²
<i>Max</i>							27,20 m²
<i>MOYENNE</i>							Dépose charpente, chevron et couverture 24,55 m²
<i>MOYENNE</i>							Dépose descente d'eau 3,15 m²
Couverture - toiture inclinée		Tuile, ardoise					
<i>MOYENNE PONDEREE</i>							56,59 m²
<i>Min</i>							22,95 m²
<i>Max</i>							101,00 m²
Couverture - toiture plate		Feuille de bitume élastomère SBS					
<i>MOYENNE</i>							31,46 m²
<i>Min</i>							24,49 m²
<i>Max</i>							36,00 m²
Couverture - toiture plate		Lestage					
<i>MOYENNE</i>			0,10	4,51	3,47		m²
Latte		19-22mm					
<i>MOYENNE</i>			0,014	37,75			m²
<i>Min</i>				26,85			m²
<i>Max</i>				48,65			m²
Sous-toiture							
<i>MOYENNE</i>							Nettoyage de l'étanchéité 8,69 m²

Sous-toiture		Polypropylène, bitumineuse, souple, synthétique, fibres ciment, fibres végétales, adhésive soudée			
MOYENNE PONDEREE		35,21			m²
Min		5,40			m ²
Max		139,15			m ²

Structure toiture inclinée		Bois			
MOYENNE		0,18	0,15	242,49	m²
Min				226,88	m ²
Max				280,13	m ²

Structure toiture plate		Bois ou élément préfabriqué monolithique ou élément préfabriqué composé			
MOYENNE	Structure bois (chevrons + pannes rabotées)	0,18	0,15	242,49	m²
Min				226,88	m ²
Max				280,13	m ²

MOYENNE	Élément préfabriqué monolithique	0,14	2,10	74,76	m²
Min				53,83	m ²
Max				99,60	m ²

MOYENNE	Élément préfabriqué composé	5,00	2,10	77,78	m²
Min				59,60	m ²
Max				110,10	m ²

Isolation toiture inclinée		Cellulose soufflée, LM					
1.	Isolant ≤ 10 cm						m ²
2.	10 cm < isolant ≤ 15 cm	0,14	0,0331	14,64	14,05	m ²	1,04 1,00
3.	15 cm < isolant ≤ 20 cm	0,17	0,0334	17,18	14,99	m ²	1,00 0,87
4.	20 cm < isolant	0,22	0,0335	24,31	20,44	m ²	1,11 0,93
Min				4,70	6,08	m ²	
Max				48,10	23,48	m ²	

Isolation toiture plate		LM, PUR					
1.	Isolant ≤ 10 cm	0,09	0,0312	22,23	6,52	m ²	2,46 0,72
2.	10 cm < isolant ≤ 15 cm	0,13	0,0312	30,92	7,33	m ²	2,45 0,58
3.	15 cm < isolant ≤ 20 cm	0,16	0,0312	36,80	8,00	m ²	2,30 0,50
Min				17,32	5,91	m ²	
Max				40,00	8,00	m ²	

Isolation du plancher des combles		LM					
1.	Isolant ≤ 10 cm	0,08	0,0350	4,54	5,69	m ²	0,60 0,76
2.	10 cm < isolant ≤ 15 cm	0,14	0,0350	5,19	7,25	m ²	0,37 0,52
3.	15 cm < isolant ≤ 20 cm	0,16	0,0375	5,90	11,15	m ²	0,36 0,69
Min				1,27	2,23	m ²	
Max				7,80	11,47	m ²	

Revêtement	Dépose + pose			
MOYENNE	Dépose revêtement			18,25 m ²
MOYENNE	Revêtement			30,45 m ²

Pare-vapeur	Pare-vapeur + bande adhésive			
MOYENNE				5,00 m ²
Min				3,50 m ²
Max				7,35 m ²

Finition intérieure	Plâtre			
MOYENNE	0,01	0,38	17,80	m ²
Min			14,50	m ²
Max			25,00	m ²

Neuf

Couverture - toiture inclinée	Tuile, ardoise			
MOYENNE PONDEREE				56,59 m ²
Min				22,95 m ²
Max				101,00 m ²

Couverture - toiture plate	Feuille de bitume élastomère SBS			
MOYENNE				31,46 m ²
Min				24,49 m ²
Max				36,00 m ²

Couverture - toiture plate	Lestage			
MOYENNE	0,10	4,51	3,47	m ²

Latte	19-22mm			
MOYENNE	19-22mm	0,014	37,75	m ²
Min	19-22mm		26,85	m ²
Max	19-22mm		48,65	m ²

Sous-toiture	Polypropylène, bitumineuse, souple, synthétique, fibres ciment, fibres végétales, adhésive soudée			
MOYENNE PONDEREE				35,21 m ²
Min				5,40 m ²
Max				139,15 m ²

Structure toiture inclinée	Bois			
MOYENNE	0,18	0,15	242,49	m ²
Min			226,88	m ²
Max			280,13	m ²

Structure toiture plate	Bois ou élément préfabriqué monolithique ou élément préfabriqué composé			
MOYENNE	Structure bois (chevrons + pannes rabotées)	0,18	0,15	242,49 m ²
Min				226,88 m ²
Max				280,13 m ²

MOYENNE	Élément préfabriqué monolithique	0,14	2,10	74,76	m²
Min				53,83	m ²
Max				99,60	m ²

MOYENNE	Élément préfabriqué composé	5,00	2,10	77,78	m²
Min				59,60	m ²
Max				110,10	m ²

Isolation toiture inclinée		Cellulose soufflée, LM, laine de verre					
1.	Isolant ≤ 10 cm						m ²
2.	10 cm < isolant ≤ 15 cm	0,14	0,0331	14,64	14,05	m ²	1,04 1,00
3.	15 cm < isolant ≤ 20 cm	0,17	0,0334	17,18	14,99	m ²	1,00 0,87
4.	20 cm < isolant	0,22	0,0335	24,31	20,44	m ²	1,11 0,93
Min				4,70	6,08	m ²	
Max				48,10	23,48	m ²	

Isolation toiture plate		LM, PUR					
1.	Isolant ≤ 10 cm	0,09	0,0312	22,23	6,52	m ²	2,46 0,72
2.	10 cm < isolant ≤ 15 cm	0,13	0,0312	30,92	7,33	m ²	2,45 0,58
3.	15 cm < isolant ≤ 20 cm	0,16	0,0312	36,80	8,00	m ²	2,30 0,50
Min				17,32	5,91	m ²	
Max				40,00	8,00	m ²	

Pare-vapeur		Pare-vapeur + bande adhésive			
MOYENNE				5,00	m²
Min				3,50	m ²
Max				7,35	m ²

Finition intérieure		Plâtre			
MOYENNE		0,01	0,38	17,80	m²
Min				14,50	m ²
Max				25,00	m ²

9.1.2 Sol

Données d'entrée enveloppe

Coûts des matériaux							Isolant	
Parois	Type	Epaisseur moyenne [m]	λ [W/mK]	Coût HTVA Fourniture (+ main d'œuvre) [€/unité]	Coût HTVA Main d'œuvre [€/unité]	Unité	Coût HTVA Fourniture par cm d'épaisseur [€/cm/m²]	Coût HTVA Main d'œuvre par cm d'épaisseur [€/cm/m²]

DALLE DE SOL

Rénovation

Revêtement

MOYENNE	Dépose revêtement	18,25
MOYENNE	Dépose chape	27,90

Isolation sur sol EPS, XPS, Verre cellulaire, PUR

1. Isolant ≤ 10 cm	0,06	0,0329	20,53	12,80	m ²	3,31	2,06
Min			7,00	4,50	m ²		
Max			37,00	25,98	m ²		

Chape

MOYENNE	0,03	27,27	m ²
---------	------	-------	----------------

Dalle Plancher en béton sur vide

MOYENNE	116,27	m ²
---------	--------	----------------

Dalle Dallage en béton

MOYENNE	36,15	m ²
---------	-------	----------------

Etanchéité Imperméabilisation extérieure du dallage

MOYENNE	21,86	m ²
---------	-------	----------------

Revêtement Revêtement

MOYENNE	30,45	m ²
---------	-------	----------------

Isolation - par plafond cave EPS, PUR, LM

1. Isolant ≤ 10 cm	0,06	0,0306	16,17	20,00	m ²	2,51	3,11
Min			7,76	20,00	m ²		
Max			34,00	20,00	m ²		

Neuf

Isolation		EPS, XPS, Verre cellulaire, PUR						
1. Isolant ≤ 10 cm		0,06	0,0329	20,53	12,80	m ²	3,31	2,06
Min				7,00	4,50	m ²		
Max				37,00	25,98	m ²		
Chape		Chape						
MOYENNE		0,03		27,27		m ²		
Revêtement		Revêtement						
MOYENNE				30,45		m ²		

9.1.3 Parois verticales

Coûts des matériaux							Isolant	
Parois	Type	Epaisseur moyenne [m]	λ [W/mK]	Coût HTVA Fourniture (+ main d'œuvre) [€/unité]	Coût HTVA Main d'œuvre [€/unité]	Unité	Coût HTVA Fourniture par cm d'épaisseur [€/cm/m ²]	Coût HTVA Main d'œuvre par cm d'épaisseur [€/cm/m ²]
MUR								
rénovation								
Parement extérieur - sur ossature		Brique (terre cuite), Moellon, Bois, Maçonnerie classique, Fibre ciment, Maçonnerie collée						
MOYENNE				77,14		m ²		
Min				8,14		m ²		
Max				197,50		m ²		
Parement extérieur - crépi sur isolation collée		Crépis						
MOYENNE	Parement extérieur - crépi sur isolation collée			59,53		m ²		
Min				44,06		m ²		
Max				75,00		m ²		
Isolation par l'extérieur préparation de la surface								
MOYENNE	Dépose parement			28,67		m ²		
MOYENNE	Meulage ébavurage époussetage de surface à enduire			8,37		m ²		

Isolation par l'extérieur/dans l'ossature pose par collage		EPS	
MOYENNE	Mortier de fixation	3,82	m ²
MOYENNE	Maille de fibre de verre	3,36	m ²

1.	Isolant ≤ 10 cm	EPS	0,08	0,0335	10,42	22,20	m ²	1,33	2,83
2.	10 cm < Isolant ≤ 15 cm	EPS	0,13	0,0339	15,00	22,20	m ²	1,18	1,74
3.	15 cm < Isolant ≤ 20 cm	EPS	0,20	0,0320	24,00	22,20	m ²	1,20	1,11
	Min	EPS			7,68	20,85	m ²		
	Max	EPS			24,00	24,79	m ²		

Isolation par l'extérieur/dans l'ossature pose par fixations mécaniques		EPS, XPS, LM, PUR	
MOYENNE	Fixations pour isolant	11,91	m ²

1.	Isolant ≤ 10 cm	0,07	0,0319	15,59	26,56	m ²	2,11	3,59
2.	10 cm < Isolant ≤ 15 cm	0,11	0,0293	24,03	30,34	m ²	2,10	2,65
	Min			2,44	4,31	m ²		
	Max			15,99	47,88	m ²		

Isolation par l'extérieur/par l'intérieur/dans l'ossature		LM, verre cellulaire, PUR						
MOYENNE	Cloison de doublage	17,11	m ²					
1.	Isolant ≤ 10 cm	0,07	0,0286	20,67	20,62	m ²	2,93	2,92
2.	10 cm < Isolant ≤ 15 cm	0,13	0,0270	32,32	27,57	m ²	2,49	2,12
	Min			2,34	5,89	m ²		
	Max			46,00	41,84	m ²		

Maçonnerie/ mur de béton					
MOYENNE PONDEREE	Maçonnerie/ mur de béton	0,21	100,44	53,57	m ²
	Min		9,32	15,04	m ²
	Max		289,02	91,22	m ²

Parement intérieur		Carton-plâtre collé	
MOYENNE		32,57	m ²

neuf

Parement extérieur - sur ossature		Brique (terre cuite), Moellon, Bois, Maçonnerie classique, Fibre ciment, Maçonnerie collée	
MOYENNE		77,14	m ²
	Min	8,14	m ²
	Max	197,50	m ²

Parement extérieur - crépi sur isolation collée		Crépis	
MOYENNE	Parement extérieur - crépi sur isolation collée	59,53	m ²
	Min	44,06	m ²
	Max	75,00	m ²

Isolation par l'extérieur/dans l'ossature | pose par collage

EPS

MOYENNE	Mortier de fixation			3,82		m ²		
MOYENNE	Maille de fibre de verre			3,36		m ²		
1.	Isolant ≤ 10 cm	EPS	0,08	0,0335	10,42	22,20	m ²	1,33 2,83
2.	10 cm < Isolant ≤ 15 cm	EPS	0,13	0,0339	15,00	22,20	m ²	1,18 1,74
3.	15 cm < Isolant ≤ 20 cm	EPS	0,20	0,0320	24,00	22,20	m ²	1,20 1,11
Min		EPS			7,68	20,85	m ²	
Max		EPS			24,00	24,79	m ²	

Isolation par l'extérieur/dans l'ossature | pose par fixations mécaniques

EPS, XPS, LM, PUR

MOYENNE	Fixations pour isolant			11,91		m ²		
1.	Isolant ≤ 10 cm		0,07	0,0319	15,59	26,56	m ²	2,11 3,59
2.	10 cm < Isolant ≤ 15 cm		0,11	0,0293	24,03	30,34	m ²	2,10 2,65
Min					2,44	4,31	m ²	
Max					15,99	47,88	m ²	

Maçonnerie/ mur de béton

MOYENNE PONDEREE	Maçonnerie/ mur de béton	0,21		100,44	53,57	m ²		
Min				9,32	15,04	m ²		
Max				289,02	91,22	m ²		

Parement intérieur

Carton-plâtre collé

MOYENNE				32,57		m ²		
----------------	--	--	--	-------	--	----------------	--	--

Note concernant l'isolation de façades par l'intérieure :

L'isolation des murs par l'intérieur est moins coûteuse que par l'extérieur. Ceci est justifié par le fait que ces travaux d'isolation ne nécessitent pas de mise en place d'échafaudage, et que les coûts seront moins sujets aux finitions choisies, qui seront également moins coûteuses. La mitigation de ponts thermiques nécessite néanmoins souvent des mesures générant des coûts supplémentaires lors d'une isolation par l'intérieur ; ceci est pris en compte dans le calcul du coût moyen.

9.1.4 Fenêtres

Données d'entrée enveloppe

Coûts des matériaux

Parois	Type	Coût HTVA Fourniture (+ main d'œuvre) [€/unité]	Coût HTVA Main d'œuvre [€/unité]	Unité
FENETRE				
rénovation				

Dépose vitrage

<i>Enlèvement châssis (+ vitrage) existant</i>	25,64	m ²
--	-------	----------------

Double vitrage - Ug 1.3

<i>Double vitrage - Ug 1.3</i>	84,7	m ²
<i>Min</i>	74,00	m ²
<i>Max</i>	90,10	m ²

Double vitrage - Ug 1.1 - 1.0

<i>Double vitrage - Ug 1.1 - 1.0</i>	85,3	m ²
<i>Min</i>	66,00	m ²
<i>Max</i>	100,90	m ²

Double vitrage - verre solaire - g: 0.38

<i>Double vitrage - supplément verre solaire</i>	43,9	m ²
<i>Min</i>	42,45	m ²
<i>Max</i>	45,52	m ²

Triple vitrage - Ug 0.6

<i>Triple vitrage</i>	138,45	m ²
<i>Min</i>	101,50	m ²
<i>Max</i>	162,90	m ²

Châssis bois - vitrage exclu

<i>Châssis bois</i>	389,74	m ²
<i>Min</i>	272,00	m ²
<i>Max</i>	620,50	m ²

Châssis PVC - vitrage exclu

<i>Châssis PVC</i>	219,62	m ²
<i>Min</i>	167,29	m ²
<i>Max</i>	315,85	m ²

Châssis Aluminium - vitrage exclu

Châssis Aluminium - $U_f = 3 \text{ W/m}^2\text{.K}$	345,00	m²
Min	325,00	m ²
Max	365,00	m ²

Châssis Aluminium - $U_f = 2.4 \text{ W/m}^2\text{.K}$	365,00	m²
Min	345,00	m ²
Max	385,00	m ²

Châssis Aluminium - $U_f = 1.7 \text{ W/m}^2\text{.K}$	395,00	m²
Min	375,00	m ²
Max	415,00	m ²

Châssis Aluminium - $U_f = 0.8 \text{ W/m}^2\text{.K}$	454,50	m²
Min	432,00	m ²
Max	477,00	m ²

Châssis Bois-Aluminium - vitrage exclu

Mixte Pin / aluminium	468,5	m²
------------------------------	--------------	----------------------

Portes

Porte - PVC	PVC	610,53	m²
Min		350,83	m ²
Max		844,00	m ²

Porte - Alu	Alu	648,00	m²
--------------------	------------	---------------	----------------------

Porte - bois	Bois	737,83	m²
Min		480,80	m ²
Max		923,15	m ²

Exutoires

Exutoires	1469,21	m²
Min	1201,02	m ²
Max	1663,78	m ²

neuf**Double vitrage - Ug 1.3**

Double vitrage - Ug 1.3	84,7	m²
Min	74,00	m ²
Max	90,10	m ²

Double vitrage - Ug 1.1 - 1.0

Double vitrage - Ug 1.1 - 1.0	85,3	m²
Min	66,00	m ²
Max	100,90	m ²

Double vitrage - verre solaire - g: 0.38

Double vitrage - supplément verre solaire	43,9	m²
Min	42,45	m ²
Max	45,52	m ²

Triple vitrage - Ug 0.6

Triple vitrage	138,45	m²
Min	101,50	m ²
Max	162,90	m ²

Châssis bois - vitrage exclu

Châssis bois	389,74	m²
Min	272,00	m ²
Max	620,50	m ²

Châssis PVC - vitrage exclu

Châssis PVC	219,62	m²
Min	167,29	m ²
Max	315,85	m ²

Châssis Aluminium - vitrage exclu

Châssis Aluminium - Uf = 3 W/m2.K	345,00	m²
Min	325,00	m ²
Max	365,00	m ²

Châssis Aluminium - Uf = 2.4 W/m2.K	365,00	m²
Min	345,00	m ²
Max	385,00	m ²

Châssis Aluminium - Uf = 1.7 W/m2.K	395,00	m²
Min	375,00	m ²
Max	415,00	m ²

Châssis Aluminium - Uf = 0.8 W/m2.K	454,50	m²
Min	432,00	m ²
Max	477,00	m ²

Châssis Bois-Aluminium - vitrage exclu

Mixte Pin / aluminium	468,5	m²
------------------------------	--------------	----------------------

Portes

Porte - PVC	PVC	610,53	m²
Min		350,83	m ²
Max		844,00	m ²

Porte - Alu	Alu	648,00	m²
--------------------	------------	---------------	----------------------

Porte - bois	Bois	737,83	m²
Min		480,80	m ²
Max		923,15	m ²

Exutoires			
Exutoires		1469,21	0,00 m ²
Min		1201,02	0,00 m ²
Max		1663,78	0,00 m ²

9.2 Tableaux de coûts moyens – systèmes

9.2.1 Chaudières et cogénération

Description	caractéristique (puissance...)	prix total HTVA [€/système installé]	application	variante
Chaudières				
Chaudière à gaz - 10-30kW		kW		
Chaudière à gaz -condensation 10-30kW (pas d'ECS)	10-30	2,495	résidentiel	CC (gaz)
Chaudière à gaz -condensation 10-30kW avec ballon ECS	10-30	3,296	résidentiel	CC(gaz) + ECS
Chaudière à fioul - 10-30kW		kW		
Chaudière à mazout -condensation 10-30kW (pas d'ECS)	10-30	4,561	résidentiel	CC (mazout)
Chaudière à mazout -condensation 10-30kW avec ballon d'ECS	10-30	4,849	résidentiel	CC(mazout) + ECS
Chaudière à gaz à condensation >50kW		kW		
chaudière au gaz à condensation 63 kW / rendement 107%	63	7,591	bureau	CC - 63
chaudière au gaz à condensation 73 kW / rendement 107%	73	8,063	bureau	CC - 73
chaudière au gaz à condensation 86 kW / rendement 107%	86	8,624	bureau	CC - 86
chaudière au gaz à condensation 93 kW / rendement 107%	93	8,905	bureau	CC - 93
chaudière au gaz à condensation 107 kW / rendement 107%	107	9,432	bureau	CC - 107
chaudière au gaz à condensation 175 kW / rendement 107%	175	11,540	écoles	CC - 175
chaudière au gaz à condensation 159 kW / rendement 107%	159	11,095	écoles	CC - 159
chaudière au gaz à condensation 146 kW / rendement 107%	146	10,713	écoles	CC - 146
chaudière au gaz à condensation 140 kW / rendement 107%	140	10,531	écoles	CC - 140
chaudière au gaz à condensation 126 kW / rendement 107%	126	10,086	écoles	CC - 126

Chaudière à biomasse <30 kW		kW		
Chaudière à biomasse <30 kW	P<30kW	12,597	résidentiel	Biom

Chauffage local				
Chauffage local biomasse, partie fixe		2,125	résidentiel	local - Biom
Chauffage local biomasse, partie variable		250€/kW	résidentiel	local - Biom
Poêle à bois		2,500	résidentiel	local - bois
Chauffage local électrique direct, partie fixe		325	résidentiel	local - élect
Chauffage local électrique à accumulation, partie fixe		810	résidentiel	local - élect

Chaudière à biomasse >30kW		kW		
Chaudière à biomasse 63 kW / rendement 92%	63	18,959	bureau	BIOM - 63
Chaudière à biomasse 73 kW / rendement 92%	73	21,889	bureau	BIOM - 73
Chaudière à biomasse 86 kW / rendement 92%	86	25,698	bureau	BIOM - 86
Chaudière à biomasse 93 kW / rendement 92%	93	27,749	bureau	BIOM - 93
Chaudière à biomasse 107 kW / rendement 92%	107	31,851	bureau	BIOM - 107
Chaudière à biomasse 175 kW / rendement 92%	175	51,775	écoles	BIOM - 175
Chaudière à biomasse 159 kW / rendement 92%	159	47,087	écoles	BIOM - 159
Chaudière à biomasse 146 kW / rendement 92%	146	43,278	écoles	BIOM - 146
Chaudière à biomasse 140 kW / rendement 92%	140	41,520	écoles	BIOM - 140
Chaudière à biomasse 126 kW / rendement 92%	126	37,418	écoles	BIOM - 126

Cogénération au gaz		kW		
cogénération au gaz - puissance thermique 11kW / puissance élect. 5 kW	11	21,561	bureau	COG - 11
cogénération au gaz - puissance thermique 13kW / puissance élect. 6 kW	13	23,994	bureau	COG - 13

9.2.2 Pompes à chaleur

Description	caractéristique (puissance...)	prix total HTVA [€/système installé]	application	variante
Pompes à chaleurs				
PAC air/eau monobloc		kW		
PAC air/eau monobloc	10	5,625	résidentiel	PAC air/eau
PAC sol/eau résidentiel		kW		
Pompe à chaleur sol/eau (à une allure)	7.7	6,665	résidentiel	PAC sol/eau
Pompe à chaleur sol/eau (à une allure)	17.2	8,532	résidentiel	PAC sol/eau
forage et placement de sonde géothermique pour pompe à chaleur sol eau		750 €/kW	résidentiel	PAC sol/eau

PAC sol/eau + sonde géothermique (>50 kW)		kW		
Pompe à chaleur sol-eau / COP 4.3 / 63 kW	63	14,159	bureau	PSE - 63
Sonde géothermique pour PSE de 63 kW / longueur 1381.4 m		65,859	bureau	GEO - 63
Pompe à chaleur sol-eau / COP 4.3 / 73 kW	73	15,005	bureau	PSE - 73
Sonde géothermique pour PSE de 73 kW / longueur 1600.7 m		75,178	bureau	GEO - 73
Pompe à chaleur sol-eau / COP 4.3 / 86 kW	86	16,006	bureau	PSE - 86
Sonde géothermique pour PSE de 86 kW / longueur 1885.7 m		87,293	bureau	GEO - 86
Pompe à chaleur sol-eau / COP 4.3 / 93 kW	93	16,507	bureau	PSE - 93
Sonde géothermique pour PSE de 93 kW / longueur 2039.2 m		93,816	bureau	GEO - 93
Pompe à chaleur sol-eau / COP 4.3 / 107 kW	107	17,445	bureau	PSE - 107
Sonde géothermique pour PSE de 107 kW / longueur 2346.2 m		106,863	bureau	GEO - 107
Pompe à chaleur sol-eau / COP 4.3 / 175 kW	175	21,176	école	PSE - 175
Sonde géothermique pour PSE de 175 kW / longueur 3837.2 m	175	170,231	école	GEO - 175
Pompe à chaleur sol-eau / COP 4.3 / 159 kW	159	20,391	école	PSE - 159
Sonde géothermique pour PSE de 159 kW / longueur 3486.4 m	159	155,321	école	GEO - 159
Pompe à chaleur sol-eau / COP 4.3 / 146 kW	146	19,717	école	PSE - 146
Sonde géothermique pour PSE de 146 kW / longueur 3201.3 m	146	143,206	école	GEO - 146
Pompe à chaleur sol-eau / COP 4.3 / 140 kW	140	19,394	école	PSE - 140
Sonde géothermique pour PSE de 140 kW / longueur 3069.8 m	140	137,615	école	GEO - 140
Pompe à chaleur sol-eau / COP 4.3 / 126 kW	126	18,605	école	PSE - 126
Sonde géothermique pour PSE de 126 kW / longueur 2762.8 m	126	124,569	école	GEO - 126

PAC air/eau >50 kW				
Pompe à chaleur air-eau / COP 3.1 / 63 kW	63	17,311	bureau	PAE - 63
Pompe à chaleur air-eau / COP 3.1 / 73 kW	73	18,492	bureau	PAE - 73
Pompe à chaleur air-eau / COP 3.1 / 86 kW	86	19,901	bureau	PAE - 86
Pompe à chaleur air-eau / COP 3.1 / 93 kW	93	20,611	bureau	PAE - 93
Pompe à chaleur air-eau / COP 3.1 / 107 kW	107	21,947	bureau	PAE - 107
Pompe à chaleur air-eau / COP 3.1 / 175 kW	175	27,359	école	PAE - 175
Pompe à chaleur air-eau / COP 3.1 / 159 kW	159	26,208	école	PAE - 159
Pompe à chaleur air-eau / COP 3.1 / 146 kW	146	25,226	école	PAE - 146

Pompe à chaleur air-eau / COP 3.1 / 140 kW	140	24,756	école	PAE - 140
Pompe à chaleur air-eau / COP 3.1 / 126 kW	126	23,615	école	PAE - 126

9.2.3 Équipement annexes au chauffage

Description	caractéristique (puissance...)	prix total HTVA [€/système installé]	application	variante
Équipement annexes chauffage				
stockage de mazout / pellets				
réservoir mazout, 3000 l, double paroi		1,807	résidentiel	
réservoir mazout 5000 l		4,214	école	
silo stockage pellets en toile 4 m3 et accessoires de liaison		3,000	résidentiel	
émetteurs de chaleur				
chauffage par le sol, par m ²		45 €/m ²	résidentiel	
radiateur (eau chaude)		255 €/kW	résidentiel	
radiateur gaz		710	résidentiel	
radiateur mazout		770	résidentiel	
Ventilos convecteurs				
Ventilos convecteurs haute température / puissance de chauffe de 35.67 kW	107	15,227	bureau	VC (HT) 107
Ventilos convecteurs haute température / puissance de chauffe de 31 kW	93	13,235	bureau	VC (HT) 93
Ventilos convecteurs haute température / puissance de chauffe de 28.67 kW	86	12,239	bureau	VC (HT) 86
Ventilos convecteurs haute température / puissance de chauffe de 24.33 kW	73	10,389	bureau	VC (HT) 73
Ventilos convecteurs haute température / puissance de chauffe de 21 kW	63	8,966	bureau	VC (HT) 63
Ventilos convecteurs basse température / puissance de chauffe de 35.67 kW	107	30,455	bureau	VC (BT) 107
Ventilos convecteurs basse température / puissance de chauffe de 31 kW	93	26,470	bureau	VC (BT) 93
Ventilos convecteurs basse température / puissance de chauffe de 28.67 kW	86	24,478	bureau	VC (BT) 86
Ventilos convecteurs basse température / puissance de chauffe de 24.33 kW	73	20,778	bureau	VC (BT) 73
Ventilos convecteurs basse température / puissance de chauffe de 21 kW	63	17,931	bureau	VC (BT) 63

9.2.4 Ventilation

Description	caractéristique (puissance...)	prix total HTVA [€/système installé]	application	variante
VENTILATION				
Ventilation - résidentiel				
Ventilation mécanique double flux avec récupérateur, partie fixe		4,500 €/habitation	résidentiel	
Ventilation mécanique double flux avec récupérateur, partie variable (Ach)		20 €/ m ² Ach	résidentiel	
Ventilation mécanique - tertiaire				
	m³/h			
groupe de ventilation double flux de 2555 m ³ /h équipé de récupération de chaleur	2555	13,635	bureau	Vent 2555
gainés de distribution pour ventilation mécanique sur une surface occupée de 1272 m ²		31,800	bureau	distr - Vent
Ventilation naturelle - tertiaire				
	Débit q1 sous 2Pa (m³/h/m)			
Grille de ventilation dans châssis - type 1	56,0 - 105,0	98 €/m	bureau - écoles	rénovation châssis
Grille de ventilation dans châssis - type 2	53,0	123 €/m	bureau - écoles	rénovation châssis
Grille de ventilation dans châssis - type 3	67,0	143 €/m	bureau - écoles	rénovation châssis
Grille de ventilation dans châssis - type 4	58,0	214 €/m	bureau - écoles	rénovation châssis
Grille de ventilation dans châssis - type 5	49,7	214 €/m	bureau - écoles	rénovation châssis

9.2.5 Refroidissement

Description	caractéristique (puissance...)	prix total HTVA [€/système installé]	application	variante
Refroidissement				
groupe de froid à compression - tertiaire				
Machine Frigorifique à compression de 86 kW	86	15,939	bureau	CF 86
Machine Frigorifique à compression de 77 kW	77	14,621	bureau	CF 77
Machine Frigorifique à compression de 73 kW	73	14,024	bureau	CF 73

9.2.6 Protections solaires

Description	caractéristique (puissance...)	prix total HTVA [€/système installé]	application	variante
Protections solaires				
protections solaires intérieures				
protection solaire intérieurs - lamelles PVC/ALU		73	bureau	IM
protections solaires extérieures dynamiques				
protections solaires extérieures dynamiques		451	bureau	EM
contrôle protections solaires dynamiques				
système de contrôle de 20 protections solaires		4.31 €/unité	bureau	EA
unité de contrôle (4 moteurs)		200 €/unité	bureau	EA

9.2.7 Éclairage

Description	caractéristique (puissance...)	prix total HTVA [€/système installé]	application	variante
Éclairage				
Détecteur de présence				
Détecteur de présence		100	bureau - écoles	éclairage - Prés
Sonde crépusculaire				
détecteur de présence et sonde crépusculaire		174	bureau - écoles	éclairage - Prés & Dim
Luminaires - main d'oeuvre				
placement/raccord. luminaire suspendu (main d'oeuvre)		21	bureau - écoles	éclairage - base
placement/raccord. downlight plafonnier (main d'oeuvre)		30	bureau - écoles	éclairage - base
Luminaires types				
Luminaire à encastrer à grille grand brillant - T5 1 x 35 / 49 / 80 W	35	217	bureau - écoles	éclairage - base
Luminaire à encastrer pour montage en ligne avec diffuseur acrylique-satiné - T5 1 x 28	28	192	bureau - écoles	éclairage - base
Luminaire à encastrer avec diffuseur PMMA opale blanc - T5 1 x 21 / 39 W	39	286	bureau - écoles	éclairage - base

Luminaire à encastrer à grille grand brillant - T5 2 x 28 W	56	232	bureau - écoles	éclairage - base
Luminaire apparent pour montage en ligne à grille grand brillant - T5 1 x 35	35	222	bureau - écoles	éclairage - base
Downlight à encastrer modulable carré - TC-DEL 10 W	10	152	bureau - écoles	éclairage - base
Downlight à encastrer rond modulable - TC-DEL 10 W	10	152	bureau - écoles	éclairage - base

9.2.8 Énergie Solaire

Description	prix total HTVA [€/unité]	unité	application
Solaire thermique			
Installation Solaire thermique	1.000	m ²	résidentiel
Photovoltaïque			
installation PV - puissance inférieure à 50 kWc	2	Wc	résidentiel /tertiaire

9.3 Descriptions des sources de données de prix

Source	Description	Utilisation
AP BTP 2010	Annuel des Prix BTP - France	Éléments constructifs, mains d'œuvre d'ouvrages, mesures d'isolation
BPU 2009	Bordereaux de prix unitaires de la construction	Éléments constructifs, mains d'œuvre d'ouvrages, mesures d'isolation
études de cas bureau d'étude 3E	Basé sur des projets réels au cours des dernières années, des coûts sont systématiquement récoltés par le bureau	PV, solaire thermique, systèmes
Fournisseurs isolants	Différents fournisseurs d'isolant ont été contactés (PUR, EPS, laine de roche)	Main d'œuvre, coûts isolation, finitions
Producteurs éléments de finitions enveloppe terre cuite		Finitions, éléments constructifs, mains d'œuvres
Installateurs châssis		Main d'œuvre, coûts châssis, coûts vitrages. Châssis aluminium, bois, PVC. Double et simple vitrage
Fournisseurs châssis		coûts châssis, coûts vitrages
Réponse d'appels d'offres		Systèmes
Base de données Soltherm	Base de données des installations de solaire thermique en Wallonie	Solaire thermique
CYPE - 2012	Banque de prix des coûts de construction – France	Éléments constructifs, mains d'œuvre d'ouvrages, mesures d'isolation
SISAL	Simulation de Systèmes Accessible en Ligne	Chauffage local, émetteurs de chaleur, ECS, ventilation

9.4 Durées de vie

9.4.1 Durée de vie des éléments constitutifs de l'enveloppe du bâtiment

DESCRIPTION	DURÉE	REMARQUE - JUSTIFICATION
Durée de vie bâtiment	90 ans	idem résidentiel
Durée de vie isolation du sol	90 ans	idem durée de vie du bâtiment
Durée de vie isolation de façade	30 ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - insulation, buidling envelope
Durée de vie isolation du toit	30 ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - insulation, buidling envelope
Durée de vie fenêtres	30 ans	EN15459:2007
Durée de vie protections solaires	20 ans	Aucune source disponible
Durée de vie nœuds constructifs	90 ans	idem bâtiment
Durée de vie étanchéité à l'air	90 ans	idem bâtiment

Note sur la durée de conservation de l'étanchéité à l'air :

La durée de l'efficacité de cette mesure, plus récente, n'est pas encore normalisée comme d'autres sont. Sur base d'études de cas⁴ et sur l'hypothèse que la rénovation de châssis et d'autres mesures d'isolation seront systématiquement réalisées en fin de vie (30 ans), on considère à ce stade que la durée de vie de l'étanchéité à l'air sera équivalente à celle du bâtiment.

9.4.2 Durées de vie systèmes

DESCRIPTION	DUREE	REMARQUE - JUSTIFICATION
Durée de vie chaudière au gaz	20 ans	EN15459:2007 - boiler direct evacuation, but EN15459 2nd revision, Octobre 2008 says 30 years for large boiler
Durée de vie chaudière au gaz à condensation	20 ans	EN15459:2007 - boiler condensing, but EN15459 2nd revision, Octobre 2008 says 30 years for large boiler
Durée de vie chaudière à la biomasse	20 ans	EN15459:2007 - boiler direct evacuation, but EN15459 2nd revision, Octobre 2008 says 30 years for large boiler
Durée de vie PAC sol-eau	25 ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008
Durée de vie sonde géothermique	90 ans	idem bâtiment
Durée de vie PAC eau-eau	25 ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008
Durée de vie PAC air-eau	15 ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008
Durée de vie PAC Air-Air	10 ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008
Durée de vie Cogénération	15 ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - combined heat and power below 5 MW
Durée de vie du réseau de chaleur	90 ans	idem bâtiment, no source
Durée de vie machine frigorifique à compression	15 ans	15 in EN15459:2007, but 17 in EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - efficient chiller in AC

⁴ -The Variation of Airtightness of. Wood-Frame Houses over an. 11-Year Period. Gary Proskiw, P.Eng. Member ASHRAE.

- Airtightness Performance of Wood-Framed Houses Over a 14-Year Period, Gary Proskiw, P.Eng. Member ASHRAE.

Durée de vie régulation chaud-froid	17 ans	EN15459:2007 - control equipment: 15-20 years
Durée de vie Radiateurs	35 ans	EN15459:2007 - radiators: 30-40 years
Durée de vie chauffage sol	50 ans	EN15459:2007 - water floor heating
Durée de vie aérothermes	15 ans	EN15459:2007 - fan coil units
Durée de vie Distribution chauffage et refroidissement	35 ans	Étude de cas – 3E
Durée de vie éclairage	12 ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - new/renovated office lighting
Durée de vie Ventilation	15 ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - efficient ventilation systems, but heat recovery system: 20 years according to EN15459 2nd revision, Octobre 2008
Durée de vie Installation PV	25 ans	Etude de cas 3E - 23 ans selon EN15459 2nd revision, Octobre 2008

9.5 Frais d'exploitation et de maintenance

DESCRIPTION	% DU COÛT D'INVESTISSEMENT	REMARQUE - JUSTIFICATION
Maintenance chaudière au gaz	1,50%	EN15459:2007 - boiler direct evacuation: 1-2%
Maintenance chaudière au gaz à condensation	1,50%	EN15459:2007 - boiler condensing: 1-2%
Maintenance chaudière à la biomasse	1,50%	EN15459:2007 - boiler direct evacuation: 1-2%
Maintenance PAC sol-eau	2,00%	EN15459:2007 - heat pumps: 2-4%
Maintenance sonde géothermique	-	Considéré inclus dans maintenance PAC
Maintenance PAC eau-eau	2,00%	EN15459:2007 - heat pumps: 2-4%
Maintenance PAC air-eau	3,00%	EN15459:2007 - heat pumps: 2-4%
Maintenance PAC Air-Air	3,00%	EN15459:2007 - heat pumps: 2-4%
Maintenance Cogénération	7,50%	Étude de cas – 3E
Maintenance réseau de chaleur	-	aucune source disponible
Maintenance machine frigorifique à compression	4,00%	EN15459:2007
Maintenance regulation chaud-froid	3,00%	EN15459:2007 - control equipment: 2-4%
Maintenance Radiateurs	1,50%	EN15459:2007 - radiators: 1-2%
Maintenance chauffage sol	2,00%	EN15459:2007 - water floor heating
Maintenance aérothermes	4,00%	EN15459:2007 - fan coil units
Maintenance Distribution chauffage et refroidissement	-	Considéré inclus dans maintenance système d'émission
Maintenance éclairage	5,00%	Étude de cas – 3E
Maintenance Ventilation	4,00%	Étude de cas – 3E
Maintenance Installation PV	1,55%	Etude de cas 3E - Ikaros

9.6 Coûts de l'énergie

9.6.1 Électricité et Gaz

ÉNERGIE	CLIENT	PRIX ACHAT ÉNERGIE TVAC	PRIX ACHAT ÉNERGIE HTVA	UNITÉ	PRIX ACHAT ÉNERGIE € TVAC /kWh	PRIX ACHAT ÉNERGIE € HTVA /kWh	AUTRES FRAIS	DONNÉES SOURCES	DATES DE MISE À JOUR	CATÉGORIE DE CONSOMMATEUR
Electricité	Consommateur résidentiel	23,27	19,23	c€/kWh	0,23	0,19	/	Eurostat	27/11/2012	Band DC : 2 500 kWh < Consumption < 5 000 kWh
Electricité	Consommateur industriel	17,62	14,56	c€/kWh	0,18	0,15	/	Eurostat	27/11/2012	Band IB : 20 MWh < Consumption < 500 MWh
Gaz Naturel	Consommateur résidentiel	6,89	5,69	c€/kWh	0,07	0,06	/	Eurostat	27/11/2012	Band D2 : 20 GJ < Consumption < 200 GJ
Gaz Naturel	Consommateur industriel	6,72	5,55	c€/kWh	0,07	0,06	/	Eurostat	27/11/2012	Band I1 : Consumption < 1 000 GJ

9.6.2 Produits pétroliers

ÉNERGIE	CATÉGORIE DE FOURNITURE	PRIX TVA INCL.	PRIX	UNITÉ	PRIX ACHAT ÉNERGIE € TVAC /kWh	PRIX ACHAT ÉNERGIE € HTVA /kWh	AUTRES FRAIS	DONNÉES SOURCES	DATES DE MISE À JOUR
Gasoil chauffage normal	moins de 2000 l	0,9143	0,7556	(€/L)	0,091	0,075	Livraison incluse	statbel	04/03/2013
Gasoil chauffage normal	plus de 2000 l	0,8876	0,7336	(€/L)	0,088	0,073	Livraison incluse	statbel	04/03/2013
Gasoil chauffage normal	à la pompe	1,011	0,8355	(€/L)	0,101	0,083	Livraison incluse	statbel	04/03/2013

9.6.3 Biomasse

ÉNERGIE	CATÉGORIE DE FOURNITURE	PRIX ACHAT ÉNERGIE TVAC	PRIX ACHAT ÉNERGIE HTVA	UNITÉ	PRIX ACHAT ÉNERGIE € TVAC /kWh	PRIX ACHAT ÉNERGIE € HTVA /kWh	AUTRES FRAIS	DONNÉES SOURCES	DATES DE MISE À JOUR
Pellets Bois	vrac, min. 4 t	250	206,61157	€/t	0,052	0,043	Livraison incluse	ValBiom	01/01/2013
Pellets Bois	sac, min. 1 palette	269	222,31405	€/t	0,054	0,045	Livraison incluse	ValBiom	01/01/2013

9.7 Études de scénarii d'évolution des coûts de l'énergie

L'évolution des coûts de l'énergie selon les différentes études considérées est reprise ci-dessous:

9.7.1 European Commission - EU Energy Trends to 2030, 2009 update

AS YEARLY PERCENTAGE	OIL	GAS	ELECTRICITY	ELECTRICITY
			SERVICES	HOUSEHOLDS
2008	-	-	-	1,60%
2009	1,85%	3,41%	-	1,58%
2010	1,82%	3,30%	-	1,55%
2011	1,79%	3,19%	2,42%	2,78%
2012	1,75%	3,09%	2,36%	2,70%
2013	1,72%	3,00%	2,31%	2,63%
2014	1,69%	2,91%	2,26%	2,56%
2015	1,67%	2,83%	2,21%	2,50%
2016	1,64%	2,75%	1,87%	1,95%
2017	1,61%	2,68%	1,84%	1,91%
2018	1,59%	2,61%	1,80%	1,88%
2019	1,56%	2,54%	1,77%	1,84%
2020	1,54%	2,48%	1,74%	1,81%
2021	2,05%	2,42%	0,92%	1,22%
2022	2,00%	2,36%	0,91%	1,21%
2023	1,97%	2,31%	0,90%	1,19%
2024	1,93%	2,26%	0,90%	1,18%
2025	1,89%	2,21%	0,89%	1,17%

Sources:

European Commission

EU Energy Trends to 2030, 2009 update

http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends_2030/doc/trends_to_2030_update_2009.pdf

9.7.2 European Commission - European Energy & Transport, Scenarios for High Oil & Gas, 2006

LOW OIL	LOW GAS	HIGH OIL	MEDIUM GAS	HIGH GAS
1,39%	1,47%	2,02%	2,08%	2,86%

Sources:

European Commission

European Energy & Transport, Scenarios for High Oil & Gas, 2006

9.7.3 U.S. Energy Information Administration - International Energy Outlook 2011

REFERENCE SCENARIO	"LOW OIL PRICE" SCENARIO	"HIGH OIL PRICE" SCENARIO
WORLD OIL	WORLD OIL	WORLD OIL
1,71%	-0,52%	2,57%

Sources:

U.S. Energy Information Administration

International Energy Outlook 2011

9.8 Tableaux récapitulatifs primes

NATURE DES TRAVAUX	APERÇU DES CRITÈRES À RESPECTER <small>Attention ! L'octroi des primes est lié au respect de certains critères détaillés dans les formulaires de demande de prime. Lisez-les bien avant de commencer vos travaux !</small>	AFFECTATION	MONTANTS DE LA PRIME	PLAFOND	SURPRIMES
Isolation du toit d'un bâtiment par un entrepreneur	Le matériau isolant placé doit posséder un coefficient de résistance thermique R supérieur ou égal à 3,5 m ² K/W.	Tout bâtiment dont la demande de permis d'urbanisme est antérieure au 1er décembre 1996	10 €/m ² : montant de base	Max. : 100 m ² par maison unifamiliale Max. : 200 m ² pour tout autre type de bâtiment	Surprime de 3 € / m ² - si utilisation de matériau d'isolation naturel - si R >= 4
ISOLATION Isolation des murs d'un bâtiment	La prime n'est octroyée qu'après réalisation d'un audit énergétique confirmant l'intérêt de l'isolation des murs. Le matériau isolant doit présenter un coefficient R supérieur ou égal à : a) 1,5 m ² K/W pour l'isolation des murs par l'intérieur b) 1,5 m ² K/W pour l'isolation des murs creux par remplissage de la coulisse	Tout bâtiment dont la demande de permis d'urbanisme est antérieure au 1er décembre 1996	→ Isolation de murs par l'intérieur : 20 € / m ² : montant de base → Isolation du creux du mur (ou de la coulisse) : 10 € / m ² : montant de base	Max. : 120 m ² par maison unifamiliale ou appartement Max. : 240 m ² pour tout autre type de bâtiment	Surprime de 3 € / m ² si utilisation de matériau d'isolation naturel
	----- c) 2 m ² K/W pour l'isolation des murs par l'extérieur de la paroi existante		----- → Isolation de murs par l'extérieur : 30 € / m ² : montant de base	Max. : 120 m ² par maison unifamiliale ou appartement Max. : 240 m ² pour tout autre type de bâtiment	----- Surprime de 3 € / m ² si utilisation de matériau d'isolation naturel Surprime de 20 € si R >= 3,5

Isolation du sol d'un bâtiment par un entrepreneur	La prime n'est octroyée qu'après réalisation d'un audit énergétique confirmant la pertinence de l'isolation des planchers. Le coefficient R du matériau isolant doit être supérieur ou égal à : a) 2 m2 K/W pour l'isolation «par cave» b) 1,5 m2 K/W pour l'isolation «sur dalle»	Tout bâtiment dont la demande de permis d'urbanisme est antérieure au 1er décembre 1996	→ Isolation du sol «par cave» : 10 € / m2 : montant de base → Isolation du sol «sur dalle» : 27 € / m2 : montant de base	35 € / m2 pour les revenus précaires* Max. : 80 m2 par maison unifamiliale Max. : 160 m2 pour tout autre type de bâtiment ----- Max. : 80 m2 par maison unifamiliale Max. : 160 m2 pour tout autre type de bâtiment	Surprime de 3 € / m2 si utilisation de matériau d'isolation naturel Surprime de 10 € si R >= 3,5 ----- Surprime de 3 € / m2 si utilisation de matériau d'isolation naturel
Double vitrage		Tout logement de plus de 15 ans	45 €/m2 : montant de base	Max. : 40 m2 de superficie de vitrage par logement	

LOGEMENTS NEUFS

Nouveaux logements	La ventilation de la maison unifamiliale ou de l'appartement est conforme à la réglementation en vigueur lors de la date de l'accusé de réception de la demande de permis d'urbanisme.	Maison unifamiliale / appartement dont la demande de permis d'urbanisme est postérieure au 1er mai 2010***	Si demande de permis après le 01/09/2011 : → 1.500 € pour K35 et E65 + 110 € par point Ew en moins pour maisons unifamiliales → 500 € pour K35 et E65 + 50 € par point Ew en moins pour appartements	Max. : 5.000 € par maison unifamiliale Max. : 1.500 € par appartement	Surprime de 1.500 € si maison passive Surprime de 500 € si appartement passif
Construction d'une maison passive	La maison unifamiliale ou l'appartement doit respecter certaines conditions en matière de perméabilité à l'air, de ventilation, de surchauffe et de demande de chauffage et de refroidissement.	Maison unifamiliale / appartement dont la demande de permis d'urbanisme est postérieure au 1er mai 2010	Intégration dans la prime logements neufs		
Test d'étanchéité à l'air	La mesure d'étanchéité doit se faire dans le respect des règles reprises sur http://www.epbd.be .	Concerne uniquement les maisons unifamiliales dont la demande de permis d'urbanisme est postérieure au 31 décembre 2009.	250 €		

Chauffe-eau solaire	Conditions techniques liées aux capteurs: Les capteurs devront avoir subi les tests prévus dans la norme EN-12975 et ce selon les prescriptions du label Solar Keymark ou tout autre système dont l'équivalence est reconnue par l'administration; Le capteur est orienté du sud jusqu'à l'est ou l'ouest; Pour les installations individuelles, le dimensionnement de l'installation devra permettre une fraction solaire de minimum 60 %.	Pour les maisons unifamiliales dont l'accusé de réception du permis d'urbanisme est postérieur au 30 avril 2010	500 € pour toute installation présentant une surface optique allant de 2 m ² à 4 m ² et un supplément de 100 € par m ² de surface optique supplémentaire.	Le montant total de la prime ne peut excéder 5.000 € et le cumul avec toute autre subvention est autorisé pour autant que le montant total perçu n'excède pas 75% du montant total de l'investissement.	
	L'installation collective est considérée comme étant équivalente à autant d'installations individuelles qu'il y a de logements individuels desservis. Une installation individuelle devant comporter au minimum 2 m ² de surface optique, le nombre maximum d'installations individuelles équivalentes ne peut en aucun cas dépasser la moitié du nombre de m ² de surface optique de capteur solaire installé.	Pour les appartements dont l'accusé de réception du permis d'urbanisme est postérieur au 30 avril 2010	La prime octroyée dans le cas d'une installation collective s'élève à 500 € x le nombre d'installations individuelles équivalentes.		
Installation d'une micro-cogénération ou cogénération	L'unité doit générer un taux minimum de 10 % d'économie de CO ₂ par rapport aux émissions des productions séparées des mêmes quantités de chaleur et d'électricité dans des installations modernes de référence.	Pour tout type de bâtiment	20 % du montant de la facture	Max. : 15.000 €	Surprime si constitue un système centralisé de production de chaleur

Installation d'un appareil de chauffage biomasse à alimentation exclusivement automatique	L'appareil de chauffage doit satisfaire à la norme NBN EN 303-5 et avoir un rendement calculé selon cette norme supérieur à 85 %	Pour tout type de bâtiment	1.750 € + surplus en fonction de la puissance : → 50 kW : 1.750 € + 35 € / kW sup. → 100 kW : 3.500 € + 18 € / kW sup. → 500 kW : 10.700 € + 8 € / kW sup.	Max : 50% du montant de la facture et 15.000 €	Surprime si constitue un système centralisé de production de chaleur
---	--	----------------------------	---	--	--

PRIME UREBA	<p>Quels sont ces travaux ?</p> <p>L'installation d'un réseau de chaleur ; l'isolation thermique des parois d'un bâtiment (vitrage, murs, toiture, planchers) ; le remplacement ou l'amélioration de tout système de chauffage (chaudière à condensation, vannes thermostatiques, régulation...) ; l'éclairage (remplacement, optimisation...); l'équipement de ventilation ou de refroidissement d'un bâtiment (réglage, récupération de chaleur, installation de refroidissement par ventilation naturelle ou hybride...); tout équipement ou système qui améliore la performance énergétique d'un bâtiment.</p> <p>Toutes ces interventions sont plus spécifiquement détaillées dans l'annexe V de l'arrêté du Gouvernement wallon du 10 avril 2003.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Le montant de l'investissement, TVAC doit être au minimum de 2.500 €. 2. Le bâtiment appartient au demandeur et a au moins dix ans. 3. Le demandeur s'engage à fournir chaque année à l'administration, et ce pendant dix ans, les informations relatives aux consommations énergétiques du bâtiment concerné. 4. Les performance énergétique établies à l'annexe V de l'arrêté doivent être respectées. 	<p>La Région wallonne intervient dans le coût de certains travaux destinés à améliorer la performance énergétique des bâtiments publics et assimilés.</p>	<p>30% du montant de l'investissement TVAC si pas de cumul avec d'autres subsides. Sinon 15% du montant de l'investissement TVAC.</p>
--------------------	---	--	---	--

CO-ZEB

RAPPORT FINAL DU PROJET
(5) RESULTATS POUR LE RESIDENTIEL

JUIN 2013

*Pour le compte du
Département de l'Energie et du Bâtiment durable
SPW-DGO4*



Sommaire

1. Introduction.....	8
Définition du taux d'actualisation	Erreur ! Signet non défini.
Le calcul du coût global actualisé	Erreur ! Signet non défini.
Les hypothèses retenues.....	Erreur ! Signet non défini.
2. Bâtiments résidentiels unifamiliaux existants.....	9
ME1 – maison mitoyenne.....	9
ME2 – maison 4 façades.....	20
3. Bâtiments résidentiels « immeubles d'appartements » existants	30
AE1 – Appartements dans un immeuble divisé en plusieurs unités de logements	30
AE2 – Immeuble d'appartements de type « Etrimmo ».....	42
4. Bâtiments résidentiels unifamiliaux neufs	51
MN1 – maison 4 façades – construction traditionnelle	51
MN2 – maison mitoyenne - ossature bois	58
5. Bâtiments résidentiels « immeubles d'appartements » neufs	64
AN – Appartement neuf	64
6. Résultats globaux pour le résidentiel existant	70
Bâtiment résidentiel « GLOBAL » existant	71
7. Résultats globaux pour le résidentiel neuf.....	75
Bâtiment résidentiel « GLOBAL » neuf.....	76
8. Conclusions.....	80
9. ANNEXES.....	81
Graphiques supplémentaires ME1	81
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	81
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	81
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	82
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	82

Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	83
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	83
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	84
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	84
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	85
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K	85
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	86
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit	86
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie (fenêtres seules) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	87
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie (fenêtres+toit) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	87
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie (fenêtres+toit+murs) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	88
Graphiques supplémentaires ME2	89
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	89
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	89
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	90
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	90
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	91
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	91

Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	92
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	92
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	93
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K	93
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	94
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	94
Graphiques supplémentaires AE1	95
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	95
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	95
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	96
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	96
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	97
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	97
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	98
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	98
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	99
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K	99
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	100
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit	100

Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres seules) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	101
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	101
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit+murs) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	102
Graphiques supplémentaires AE2	103
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	103
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	103
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	104
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	104
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	105
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	105
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	106
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	106
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	107
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K	107
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	108
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit.....	108
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres seules) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	109

Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	109
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit+murs) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	110
Graphiques supplémentaires MN1	111
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau Espec.....	111
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau Espec	111
Calcul financier, taux d'actualisation 6%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau Espec	112
Graphiques supplémentaires MN2	113
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau Espec.....	113
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau Espec	113
Calcul financier, taux d'actualisation 6%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau Espec	114
Graphiques supplémentaires AN	115
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie : comparaison niveau d'isolation pour les systèmes de chauffages - coût global actualisé en fonction du Espec	115
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie : coût global actualisé pour les mesures/groupes/variantes de performances '3'-E2-Dr en fonction du Espec	115
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé pour les mesures/groupes/variantes de performances '3' en fonction de Espec	116
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé pour les mesures/groupes/variantes de performances « passif » en fonction de Espec	116
Bâtiment GLOBAL EXISTANT.....	117
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du niveau K.....	117
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U vitrage.....	118

Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	118
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre	119
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	119
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre	120
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre	120
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre.....	121
Bâtiment GLOBAL NEUF	122
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: comparaison des 3 scénarii d'évolution du coût de l'énergie.....	122
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du Espec	123
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du Espec.....	123
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du Espec.....	124

1. Introduction

Ce document reprend les résultats « coût optimum » pour tous les bâtiments résidentiels : les habitations unifamiliale, les immeubles d'appartements, existants et neufs ; et également un bâtiment résidentiel « global » pondéré selon les proportions du parc immobilier wallon. Des graphiques généraux mais également des graphiques plus détaillés sont repris ci-dessous et permettent d'analyser l'optimum pour chaque bâtiment étudié.

La plupart des résultats sont présentés pour les hypothèses retenues, c'est-à-dire le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario moyen d'évolution du coût de l'énergie.

Nous avons également envisagé plusieurs taux d'actualisation, plusieurs scénarii d'évolution du coût de l'énergie et toutes les simulations ont été effectuées pour le calcul macro-économique et pour le calcul financier. L'ensemble des résultats est disponible dans les annexes de ce rapport.

2. Bâtiments résidentiels unifamiliaux existants

Le coût global comprend le coût de la rénovation de l'enveloppe du bâtiment ainsi que le coût de la consommation énergétique de l'habitation pendant 30 ans. Le coût de chaque paroi de déperdition reprend sa nouvelle isolation, les nouvelles finitions extérieures (crépi, bardage, étanchéité si nécessaire ...) et/ou intérieures (plaques de plâtre ...) mais également l'éventuelle nouvelle structure nécessaire pour la pose de l'isolation.

Pour les bâtiments existants, seules les modifications liées à l'enveloppe du bâtiment sont étudiées : placement de nouveaux vitrages, remplacement des châssis par des châssis plus isolants, isolation de la toiture, isolation des murs et/ou encore isolation du sol.

L'analyse de l'optimum se réalise sur des graphiques du coût global actualisé en fonction du U [W/m^2K] d'un élément de bâtiment. On observe également l'évolution du coût global lorsque cet élément de bâtiment est combiné à un ou plusieurs autres éléments de bâtiments.

Des graphiques proposant le coût global actualisé en fonction du niveau K de l'habitation sont également établis. Nous pouvons ainsi situer le bâtiment de référence par rapport aux autres bâtiments dont l'isolation de l'enveloppe est améliorée, selon les différentes mesures/groupe/variantes choisies.

Pour les bâtiments existants, il faut justifier la pertinence du U des parois imposé actuellement ou son évolution. Si l'optimum diffère de 15% par rapport aux U imposés en 2012 ou par rapport aux évolutions imaginées (U 2014 déjà planifiés), il faut expliciter la raison de l'écart et les mesures prises ou à prendre pour le réduire.

ME1 – maison mitoyenne

Pour rappel, cette maison mitoyenne date du début du XX^{ème} siècle. Cette habitation se développe sur 3 niveaux, rez-de-chaussée, premier et deuxième étage. Il y a une cave sur toute l'habitation et un grenier. L'enveloppe se compose de murs pleins, fenêtres bois simple vitrage, d'un plancher sur cave en béton et le plancher du grenier est en structure bois. Les caractéristiques complètes sont reprises dans le rapport « bâtiments de référence », pages 16 et 17.

Le premier graphique représente le coût global actualisé en fonction du niveau K de l'habitation. Les graphiques suivants représentent le coût global actualisé en fonction du U [W/m^2K] d'un élément de bâtiment.

La figure 1 permet de situer l'habitation de référence (« base ») par rapport aux autres mesures/groupe/variantes étudiées. Le niveau K de l'habitation de « base » est le plus élevé (140) et est associé à un coût global actualisé parmi les plus importants. Presque toutes les mesures/groupe/variantes étudiées ont un coût global actualisé inférieur au bâtiment de référence et surtout un niveau K plus faible.

Nous analysons ensuite un élément de bâtiment seul (vitrage, fenêtre ou toit), puis nous le combinons avec d'autres éléments de bâtiment. Nous pouvons ainsi observer l'influence de chaque élément.

Le coût global actualisé du bâtiment de référence appelé « base » sera repris sur chaque graphique et sera représenté par une droite verte pointillée. Cette référence permettra de voir où se situent les mesures/groupe/variantes analysées par rapport au bâtiment sur lequel aucune amélioration thermique n'est apportée.

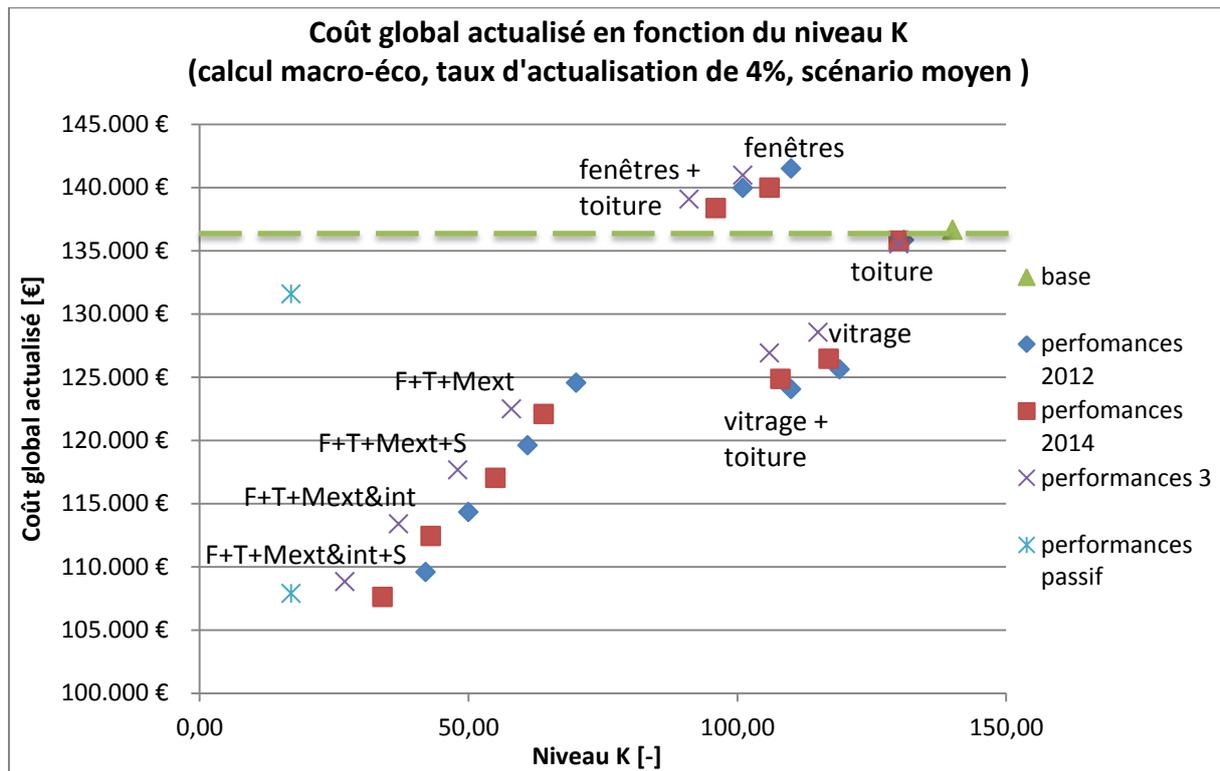


Figure 1 : maison mitoyenne existante ME1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

Sur le graphique de la figure 2, on analyse le coût global actualisé lors du remplacement des vitrages. On place soit, un vitrage $U_g = 2,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ avec un facteur solaire de 0,63 ; soit un vitrage $U_g = 1,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ avec un facteur solaire de 0,50 ; soit un vitrage solaire $U_g = 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ avec un facteur solaire de 0,38.

Sur cette figure 2, on observe que le vitrage le plus intéressant par rapport au cas de base est le vitrage 2012. Cela est dû au facteur solaire faible ($g=0.38$) choisi pour le vitrage 3 par rapport à celui de 2014 ($g=0.50$) et par rapport à celui de 2012 ($g=0.63$) : il y a une diminution des apports solaires et cela conduit donc à une augmentation globale de la consommation énergétique.

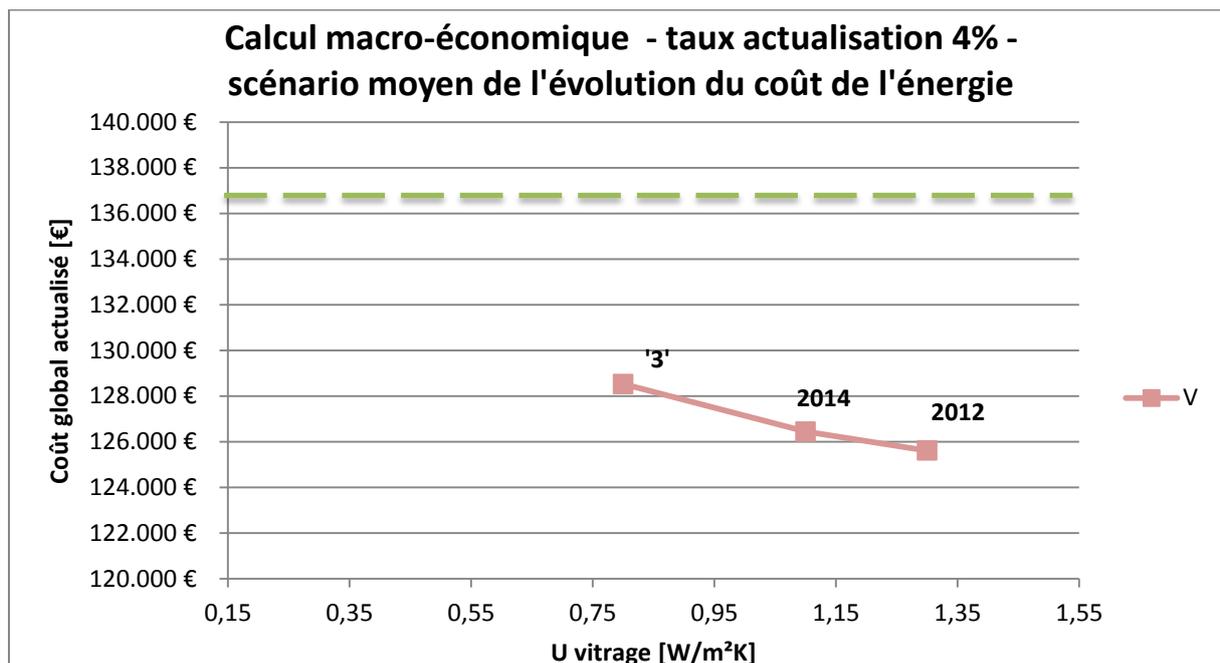


Figure 2 : maison mitoyenne existante ME1

Le graphique de la figure 3 reprend l'évolution du coût global actualisé lorsque de nouvelles fenêtres aux caractéristiques thermiques de 2012 ($U_w=2.2\text{W/m}^2\text{K}$), de 2014 ($U_w=1.8\text{W/m}^2\text{K}$) ou '3' ($U_w=1.4\text{W/m}^2\text{K}$) sont placées. On observe facilement un optimum avec le placement de fenêtres aux caractéristiques thermiques de 2014. Même si le coût global de l'optimum n'est que de 1 000€ inférieur aux autres points, sur un budget de 140 000€. Néanmoins cet optimum n'est pas rentable car le coût global actualisé lors du remplacement des fenêtres est plus élevé que le coût global actualisé de l'habitation de base, dans laquelle aucune amélioration thermique n'est apportée. Cela est dû au coût élevé des châssis.

La fenêtre de type '3' a un prix plus élevé (à l'investissement) par rapport aux gains énergétiques réalisés sur 30 ans. Cela est dû au facteur solaire faible ($g=0.38$) choisi pour ce vitrage par rapport à celui de 2014 ($g=0.50$) : la meilleure performance d'isolation (U) de la fenêtre est compensée par une diminution des apports solaires et cela conduit donc à une augmentation globale de la consommation énergétique.

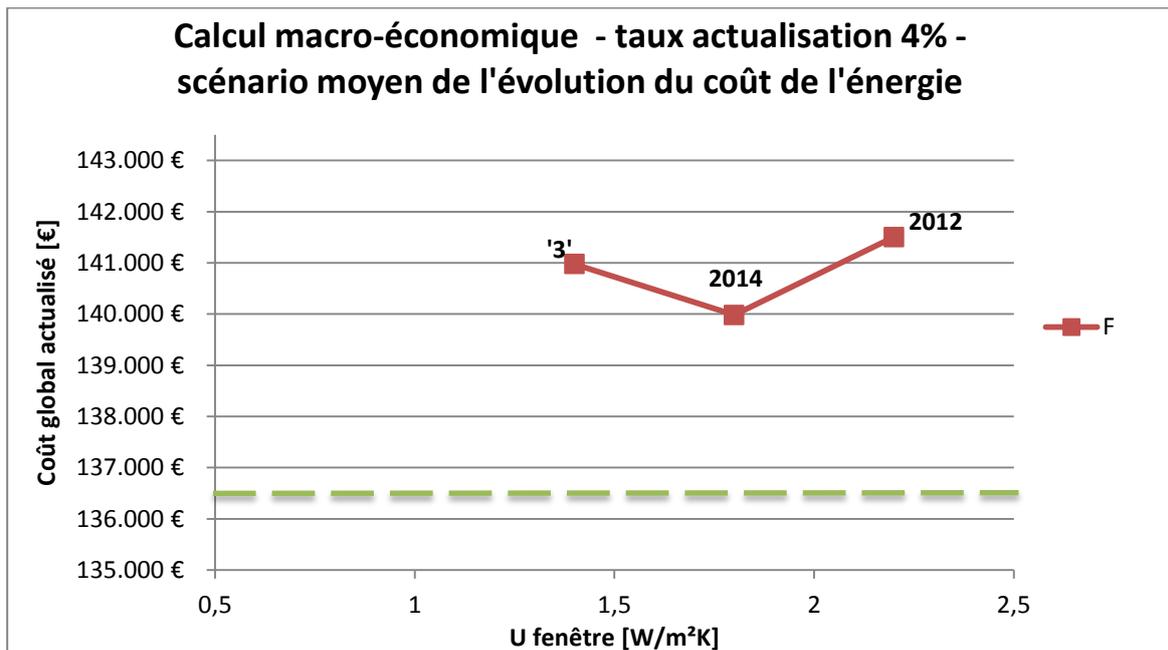


Figure 3 : maison mitoyenne existante ME1

Le graphique de la figure 4 représente l'évolution du coût global lorsqu'une nouvelle isolation de toiture est mise en œuvre. Dans ce cas, nous ne pouvons pas déterminer d'optimum. Plus l'isolant placé est meilleur, plus le coût global diminue : partant des caractéristiques thermiques de 2012 ($U=0.28\text{W/m}^2\text{K}$), en 2014 ($U=0.24\text{W/m}^2\text{K}$) et en '3' ($U=0.20\text{W/m}^2\text{K}$).

Le coût global ne diminue pas significativement : environ 300 € sur un budget total de 135 000€. Donc pour la toiture, mieux vaut l'isoler le plus possible. De plus, cet investissement est rentable car on observe que sur 30 ans, le coût global actualisé d'une maison mitoyenne dont le toit est isolé est plus faible que le coût global actualisé de la maison de base.

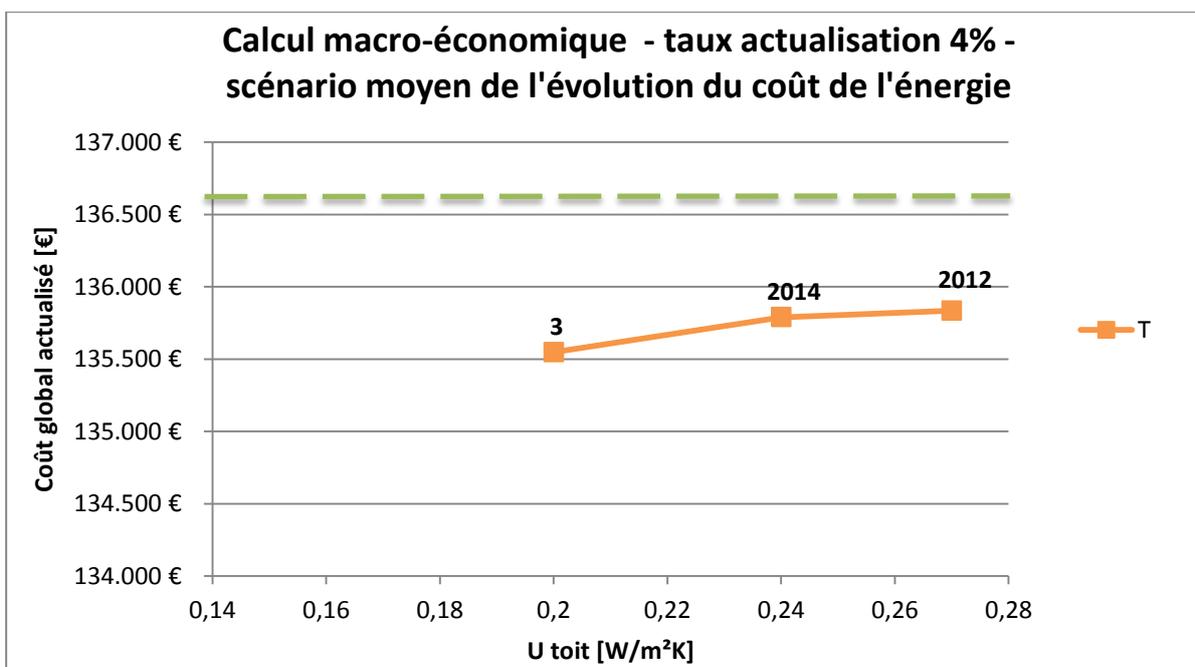


Figure 4 : maison mitoyenne existante ME1

Le graphique de la figure 5 compare l'évolution du coût global lors de l'installation de nouvelles fenêtres uniquement avec l'évolution du coût global lors du placement de nouvelles fenêtres et d'une nouvelle isolation de la toiture. On peut observer un optimum qui correspond au placement de fenêtres 2014 combiné à l'isolation de la toiture 2014. Le coût global pour la combinaison fenêtres et toiture est de 10 000€ inférieur au coût global pour les fenêtres seules. Cela signifie que même si l'investissement de départ est plus important dans le cas de la combinaison fenêtres et toit, l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans compense cet investissement.

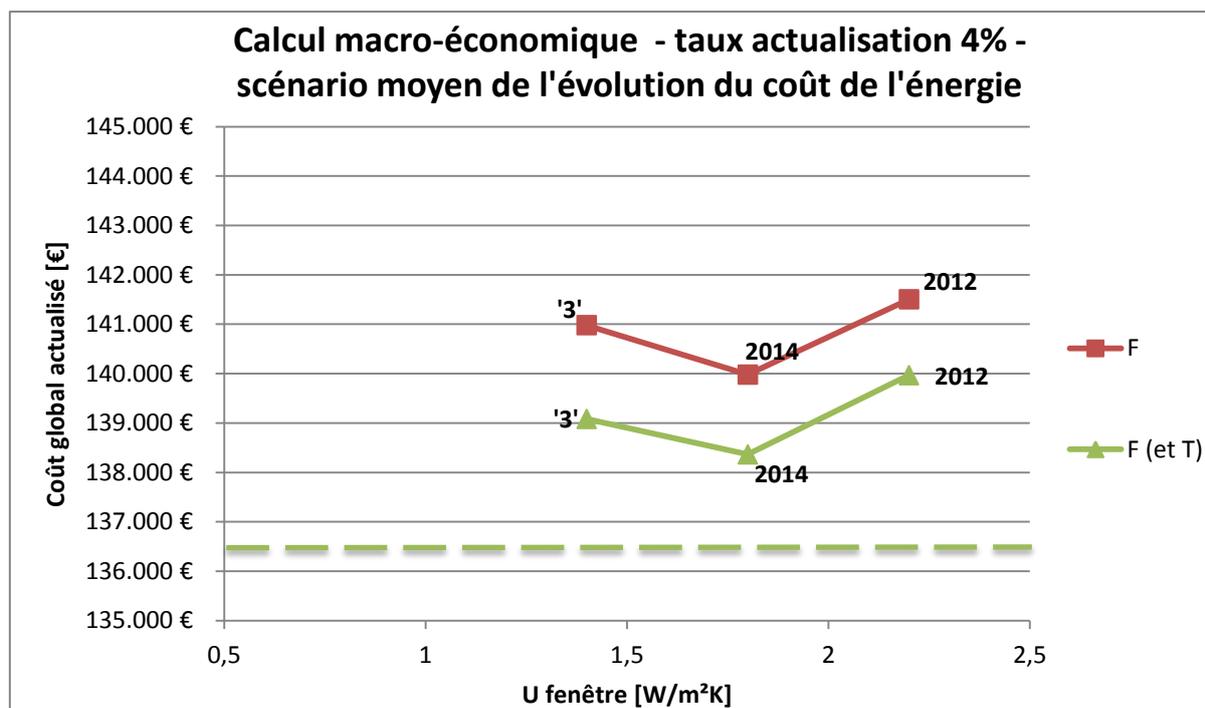


Figure 5: maison mitoyenne existante ME1

Le graphique de la figure 6 permet d'avoir une vision plus globale de toutes les combinaisons réalisées (mesures-groupes-variantes) selon le U_w de la fenêtre. L'optimum général correspond à une isolation de toute l'habitation selon les caractéristiques thermiques de 2014 : fenêtres 2014, toiture 2014, façades avant ET arrière 2014, sol 2014, coût global de 107 607€.

Si l'on désire aller plus loin (caractéristiques thermiques du passif), le coût augmente fortement sauf si on n'isole pas les 300m² de parois mitoyennes. Dans ce dernier cas de figure, le coût global reste très intéressant (107 889€).

Néanmoins lorsque l'on combine tous les travaux d'isolation de toutes les parois de déperditions, il n'est plus vraiment possible de définir un optimum car l'écart entre les coûts est très faible.

De manière plus globale, si l'on ne fait que remplacer les fenêtres, c'est l'exigence 2014 qui est optimale. Par contre, si l'on isole l'ensemble des parois, l'optimum est probablement de choisir des fenêtres très performantes (passives). Cela démontre l'importance d'une démarche cohérente globale à prendre en compte lors de la rénovation d'une habitation.

La courbe mauve clair, légèrement au-dessus, correspond à l'isolation de toutes les parois sauf le sol. La courbe bleu clair représente les variantes où toutes les parois de l'habitation sont isolées sauf la façade avant (à rue). La courbe mauve foncé: isolation de toutes les parois sauf la façade avant et sauf le sol.

Dans la courbe mauve foncé, il y a présence de deux points qui s'alignent sur le U_w de 1.8W/m².K, car nous avons choisi deux mesures-groupes-variantes pour lesquelles le U de la fenêtre est

identique et les autres caractéristiques diffèrent. Toutes les mesures-groupes-variantes envisagées ont été décrites dans le rapport numéro (2) présentant les bâtiments de référence (pages 32 & 33).

Le graphique de la figure 7 présente les résultats pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario **faible** d'évolution du coût de l'énergie, selon le U_w de la fenêtre. L'optimum en 2014 est encore plus net.

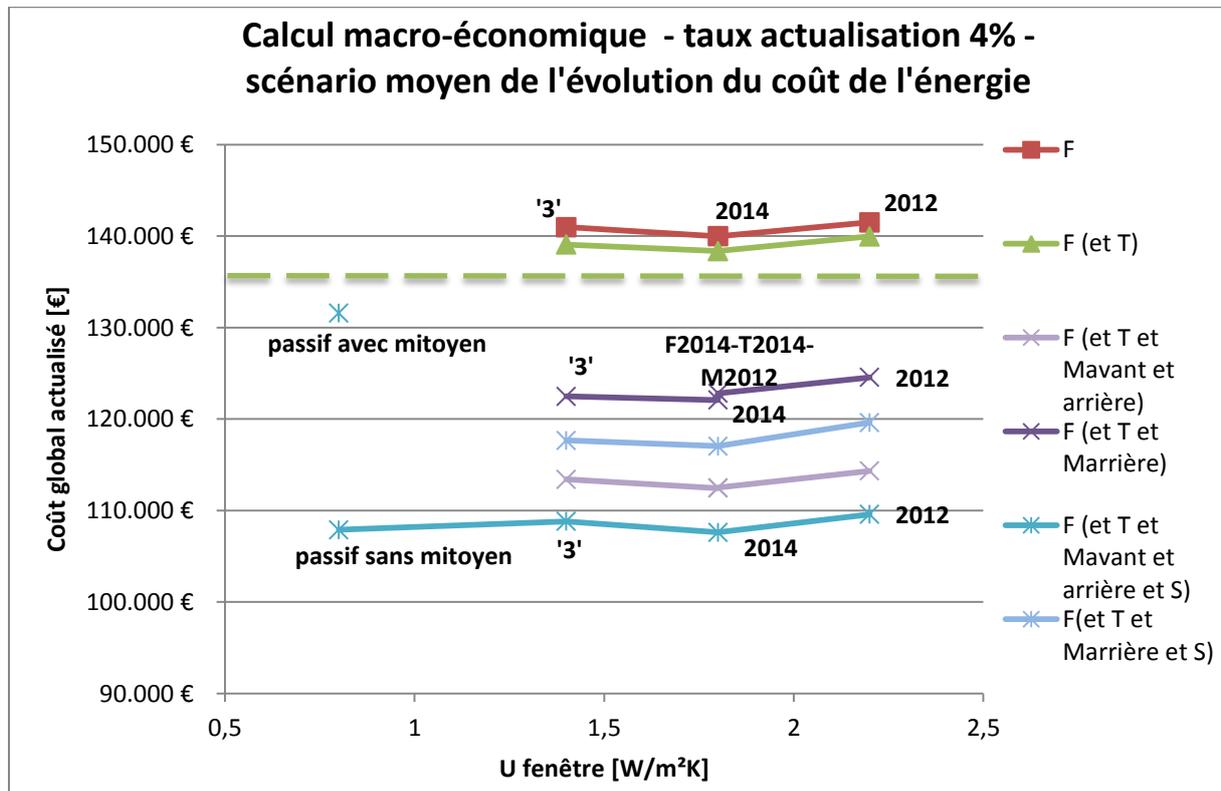


Figure 6: maison mitoyenne existante ME1

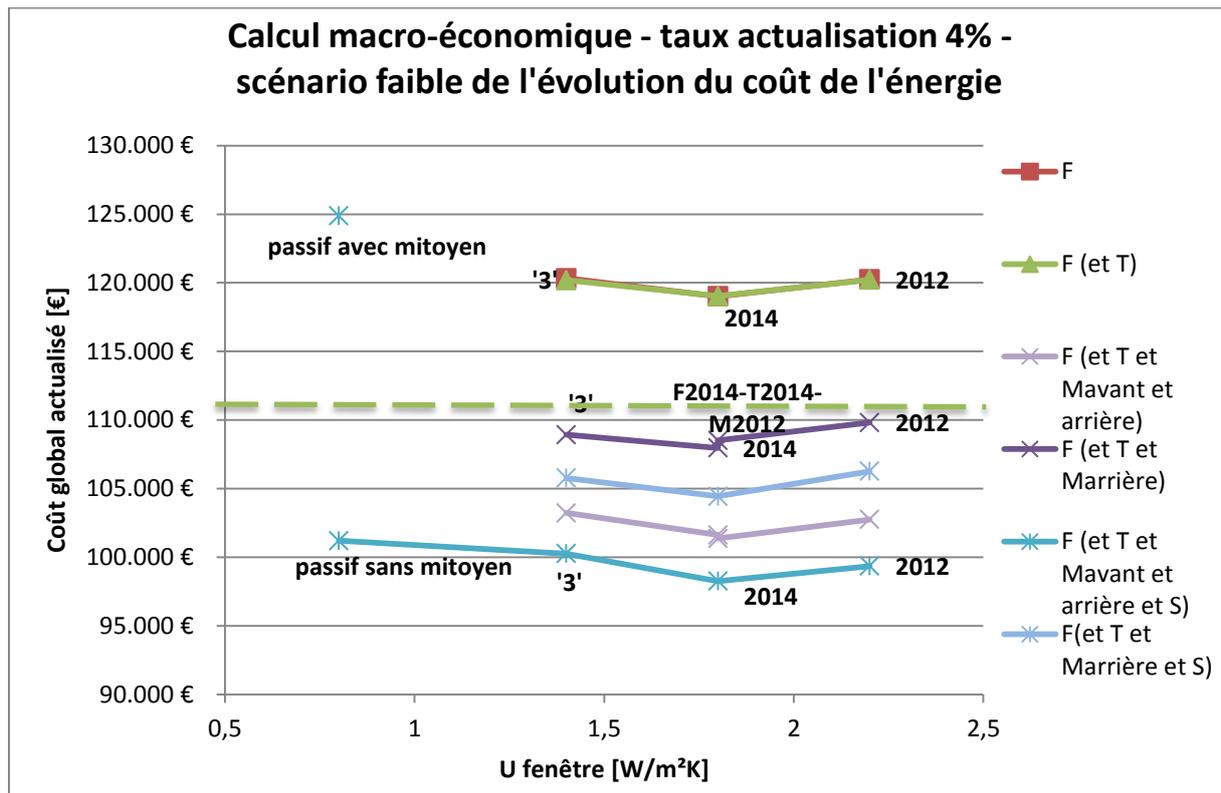
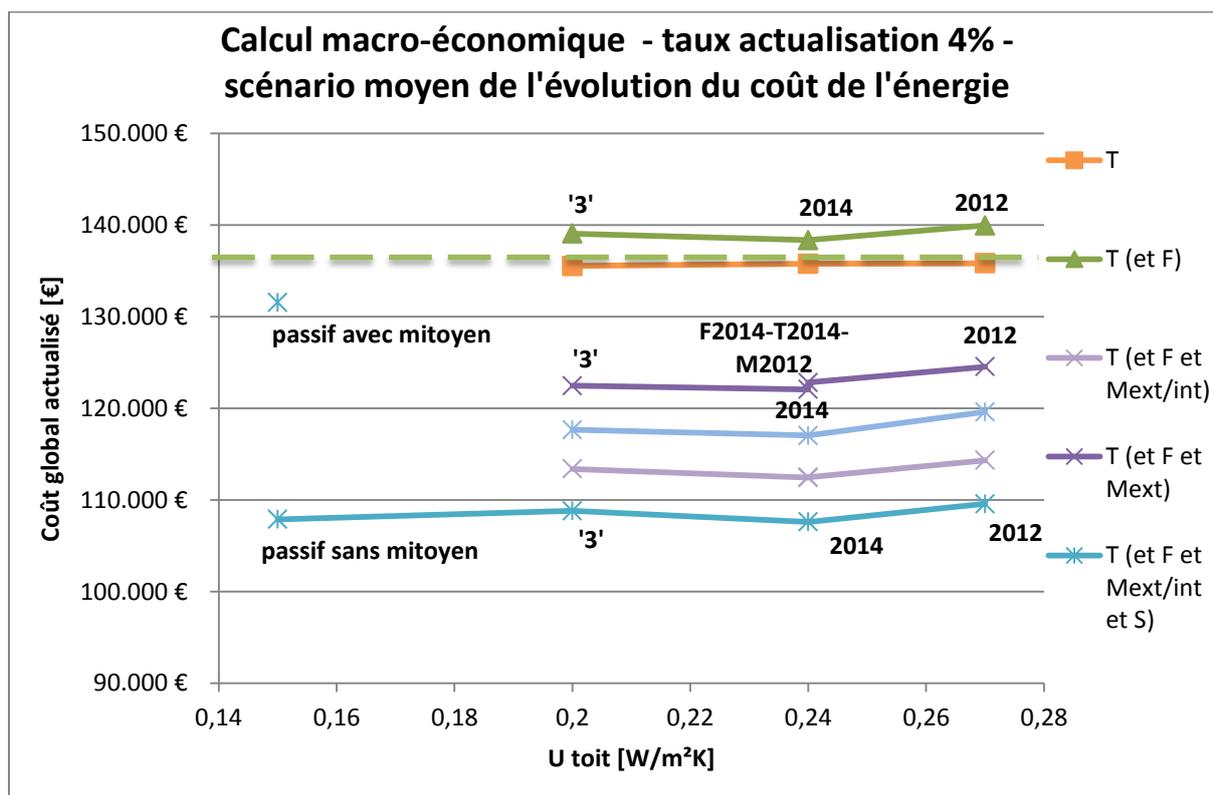


Figure 7: maison mitoyenne existante ME1

Le graphique de la figure 8 représente les variantes étudiées selon le U de la toiture (axe des abscisses). On peut observer la courbe toiture seule, qui n'était pas présente sur la figure 6. En comparaison, isoler la toiture seule est plus intéressant que la combinaison toiture et fenêtres, mais changer seulement les fenêtres est moins intéressant que la combinaison fenêtres et toiture. Les autres combinaisons sont identiques à celles du graphique de la figure 6.



Lorsqu'on compare les mêmes groupes-mesures-variantes avec des scénarii d'évolution du coût de l'énergie qui diffèrent, les conclusions changent elles aussi. Pour un scénario **faible** d'évolution du coût de l'énergie (0%), figure 7, l'optimum est une isolation complète de l'habitation '2014'. Tandis que pour un scénario **élevé** d'évolution du coût de l'énergie (3,5%), l'optimum est une isolation complète de l'habitation de type passive hors mitoyen (figure 9). En effet, le coût de l'énergie a alors une importance plus grande dans le coût global. Donc plus l'énergie coûte et coûtera cher, plus il est intéressant d'isoler fortement son habitation aujourd'hui. En effet, il est toujours important de se prémunir des effets de l'augmentation du coût de l'énergie.

On remarque également l'inversion des courbes « toiture seule » et combinaison toiture et fenêtres sur la figure 9.

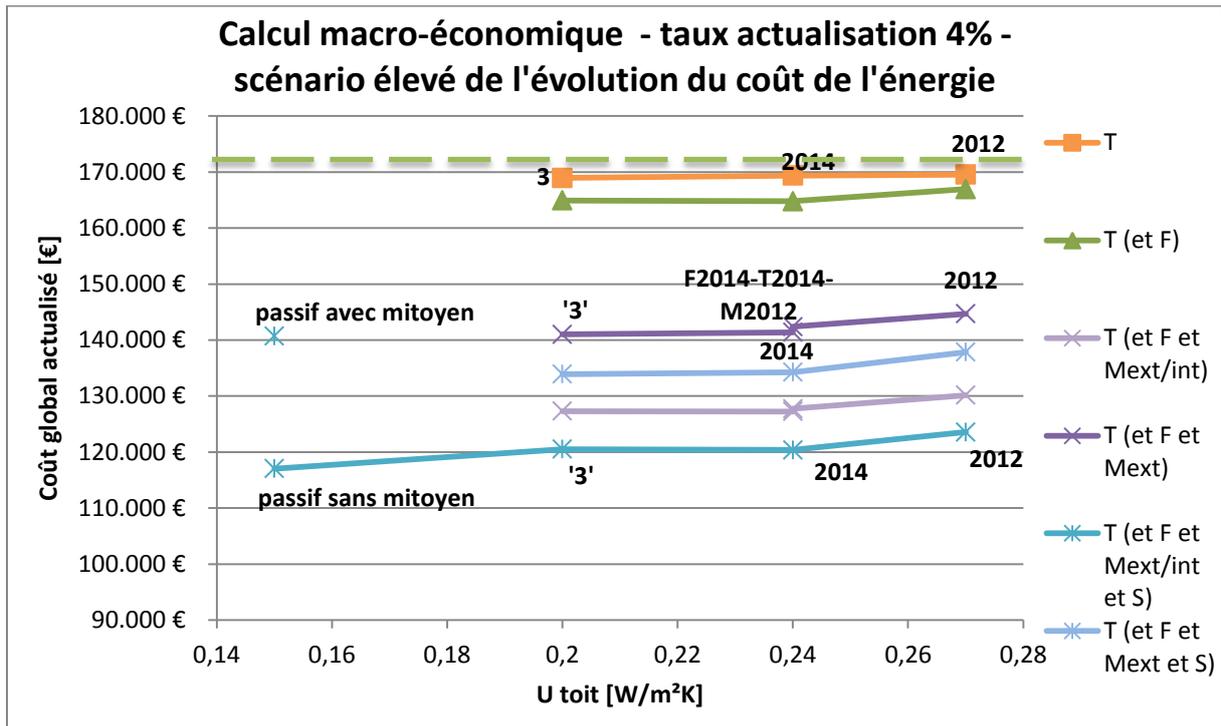


Figure 9: maison mitoyenne existante ME1

Les graphiques des figures 10 et 11 présentent les résultats respectivement pour le U des murs, le U du sol.

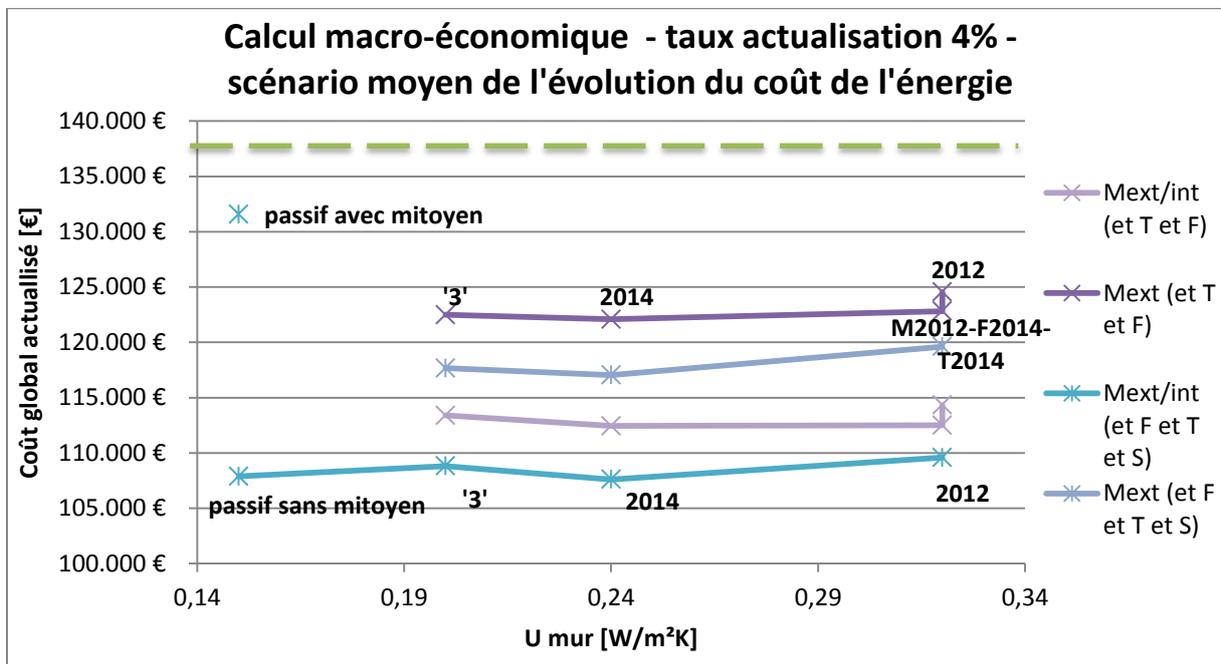


Figure 10 : maison mitoyenne existante ME1

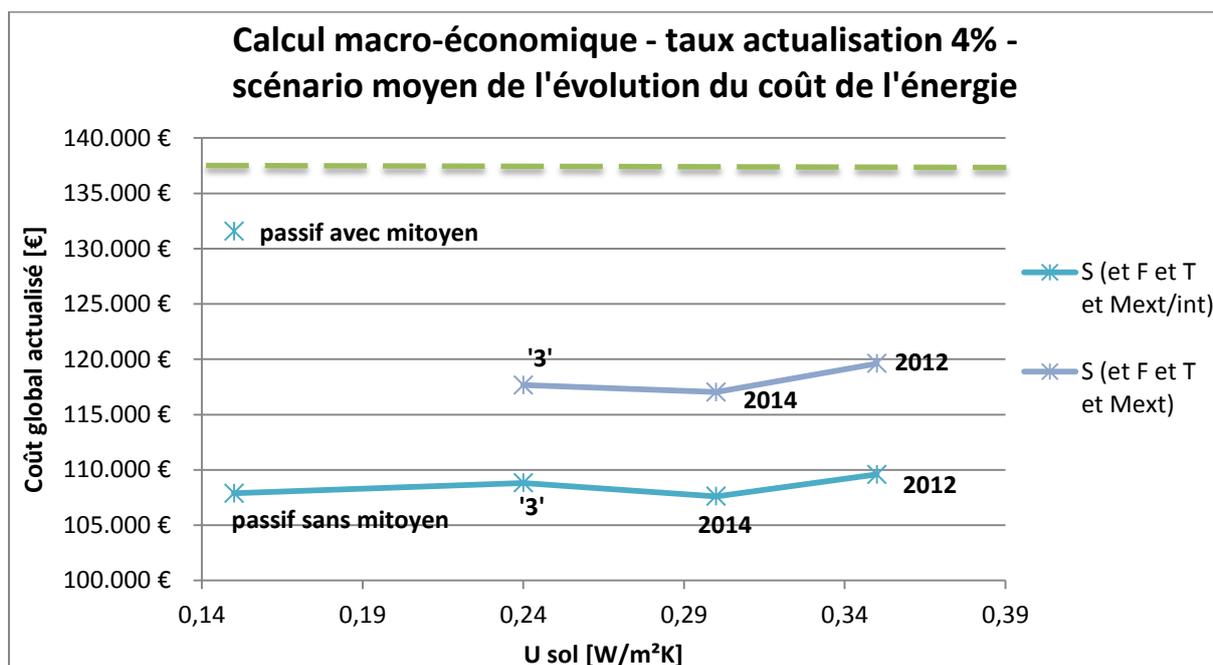


Figure 11: maison mitoyenne existante ME1

Sur la figure 12, on observe l'évolution du coût de l'énergie pour des mesures-groupes variantes qui combinent l'isolation des fenêtres, du toit, des murs et du sol. Plus le coût de l'énergie est élevé, plus le coût global est élevé. Néanmoins cette tendance diminue avec l'augmentation de l'isolation de l'habitation. En effet les écarts relatifs entre les coûts d'une isolation 2012 sont plus importants que les écarts relatifs entre les coûts d'une isolation passive. De plus, lorsque le coût de l'énergie évolue, l'optimum évolue également comme expliqué avec les figures 8 et 9.

Sur la figure 12, on voit l'optimum se déplacer : d'un optimum 'exigences 2014' pour un scénario faible du coût de l'énergie, on passe à un optimum 'exigences passives' pour un scénario élevé du coût de l'énergie.

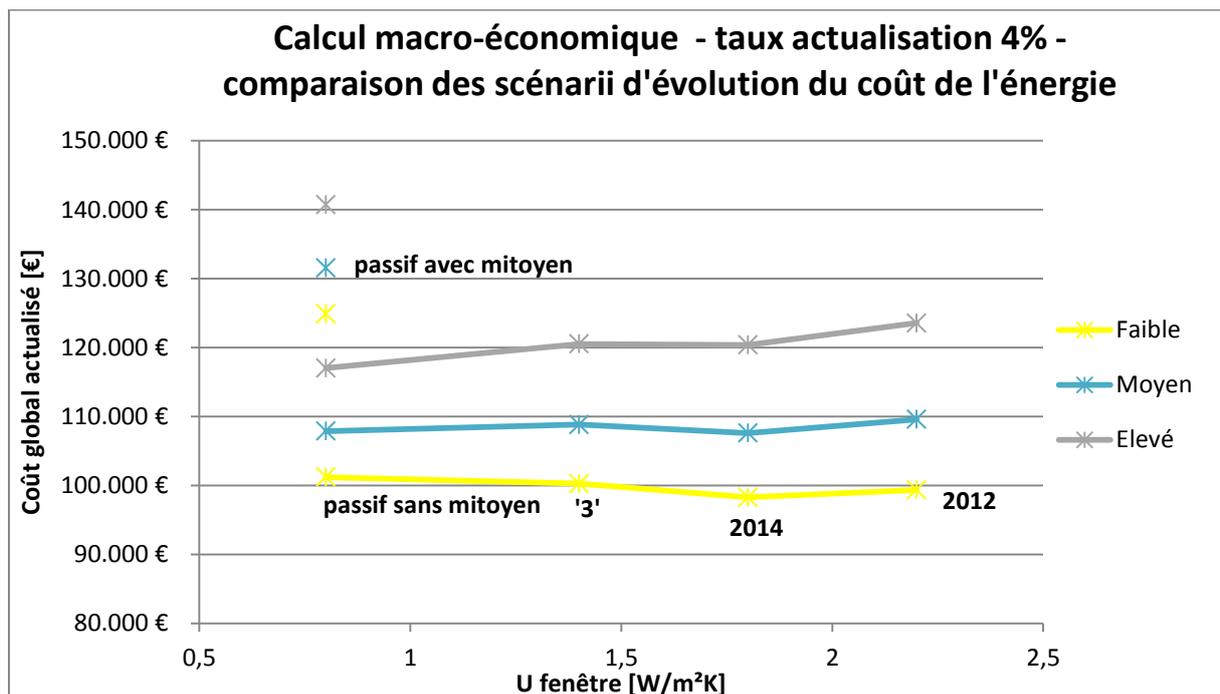


Figure 12: maison mitoyenne existante ME1 - combinaison fenêtre + toit + mur + sol

La figure 13 compare le calcul financier **sans les subventions** et calcul macro-économique pour un taux d'actualisation de 4% et un scénario moyen du coût de l'énergie. Dans ce cas, les deux courbes sont parallèles, les taxes, TVA et redevances font que le coût global calculé par le calcul financier reste toujours plus élevé que le coût du calcul macro-économique qui comprend, lui, les coûts des émissions de gaz à effet de serre.

La figure 13 compare également le calcul financier et le calcul macro-économique et permet donc, d'observer l'influence des subventions. Les primes permettent de diminuer le coût global car la courbe du calcul financier se retrouve proche et même sous la courbe du calcul macro-économique. Les subventions sont d'autant plus intéressantes que l'isolation de l'habitation est poussée. Pour une isolation caractéristique de 2012, l'effet des subventions est moins important que pour les autres situations envisagées.

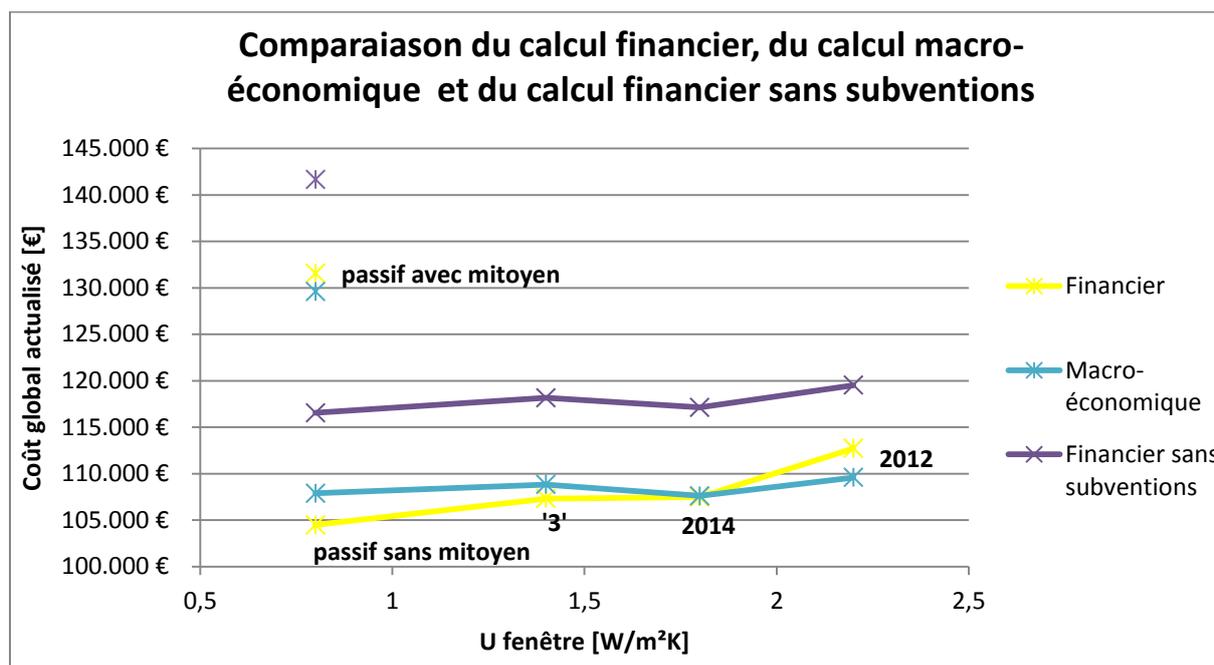


Figure 13 : comparaison calcul financier SANS SUBVENTIONS et calcul financier et calcul macro-économique – taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie - maison mitoyenne existante ME1

ME2 – maison 4 façades

Pour rappel, cette habitation 4 façades date des années 1980. Cette habitation se développe sur 2 niveaux, rez-de-chaussée et étage. L'enveloppe se compose de murs creux, de simple vitrage, d'une dalle de sol en béton et d'une toiture en structure bois. Les caractéristiques complètes sont reprises dans le rapport « bâtiments de référence », page 18.

Le graphique de la figure 14 permet de situer l'habitation de référence (« base ») par rapport aux autres mesures/groupes/variantes étudiées. Le niveau K de l'habitation de « base » est le plus élevé (105) mais est associé à un coût global actualisé relativement bas par rapport aux autres mesures/groupes/variantes étudiées. Ces dernières ont souvent un coût global actualisé supérieur au bâtiment de référence et ont un niveau K plus faible.

La figure 14 pour une habitation 4 façades présente des résultats assez différents de la figure 1 pour une habitation mitoyenne. Cela est dû aux caractéristiques géométriques des habitations. Le tableau ci-dessous reprend la répartition des différentes surfaces de déperditions pour les deux habitations ME1 et ME2 :

	ME1	ME2
Surface de déperditions	376,73 m ²	458,83 m ²
Fenêtres	56,02 m ² (14,87%)	43,7 m ² (9,52%)
Toiture	103,1 m ² (27,37%)	108,82 m ² (23,72%)
Murs	136,57 m ² (36,25%)	194,12 (42,31%)
Sol	81,04m ² (21,51%)	108,82 m ² (23,72%)

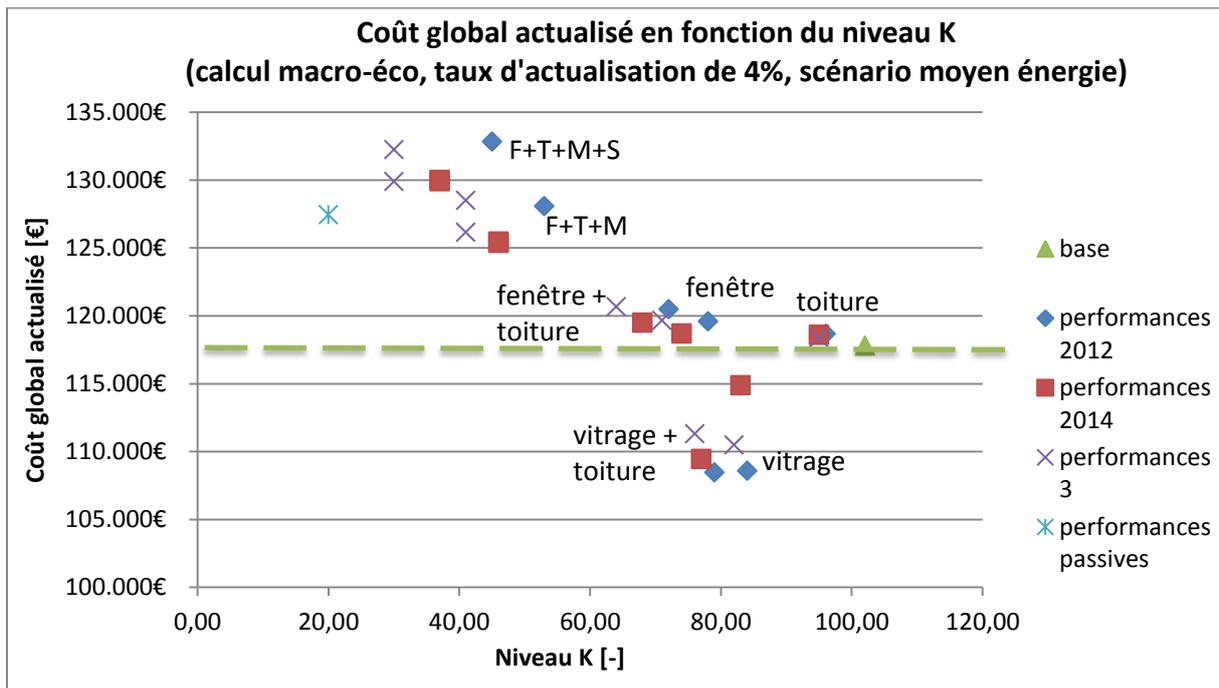


Figure 14 : maison mitoyenne existante ME2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

On analyse le coût global lors du remplacement des vitrages sur la figure 15 et on observe que le vitrage le plus intéressant par rapport au cas de base est le vitrage 2012.

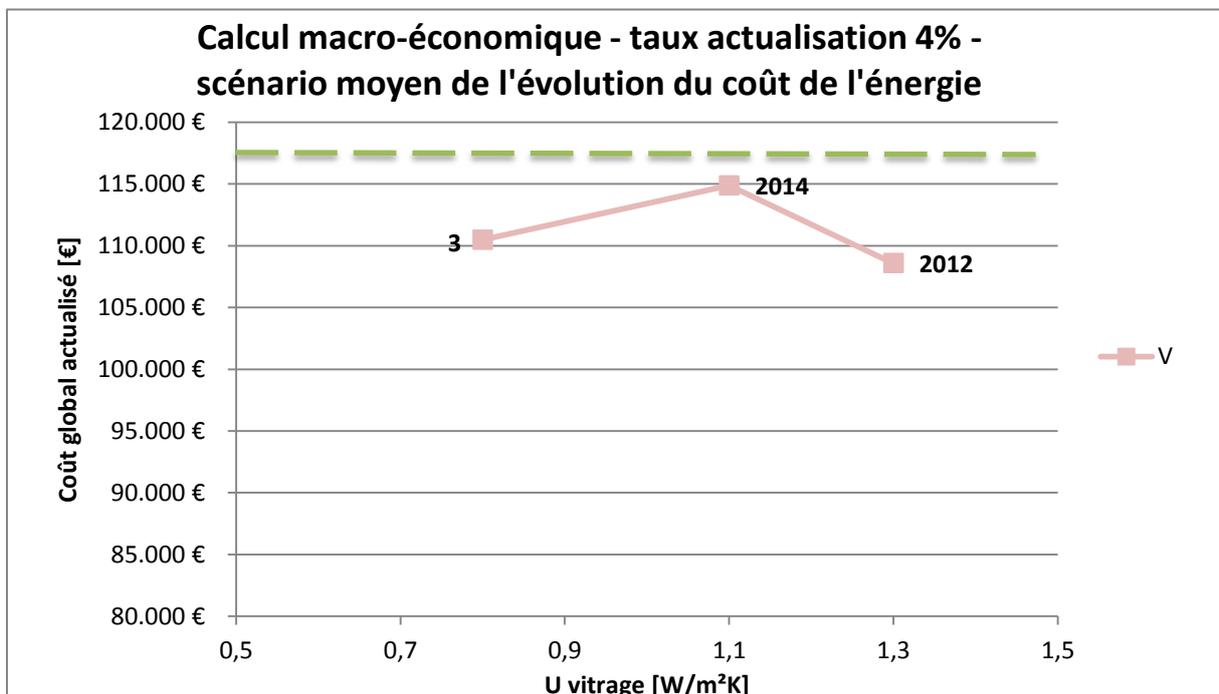


Figure 15 : maison 4 façades existante ME2

Le graphique de la figure 16 reprend l'évolution du coût global lorsque de nouvelles fenêtres aux caractéristiques thermiques de 2012 ($U_w=2.2\text{W/m}^2\text{K}$), de 2014 ($U_w=1.8\text{W/m}^2\text{K}$) ou '3' ($U_w=1.4\text{W/m}^2\text{K}$) sont placées. On observe un optimum avec le placement de fenêtres aux caractéristiques thermiques de 2014. Mais la différence du coût global entre l'optimum et les autres

points est très faible : 1 000€ sur un budget global de 118 000€.

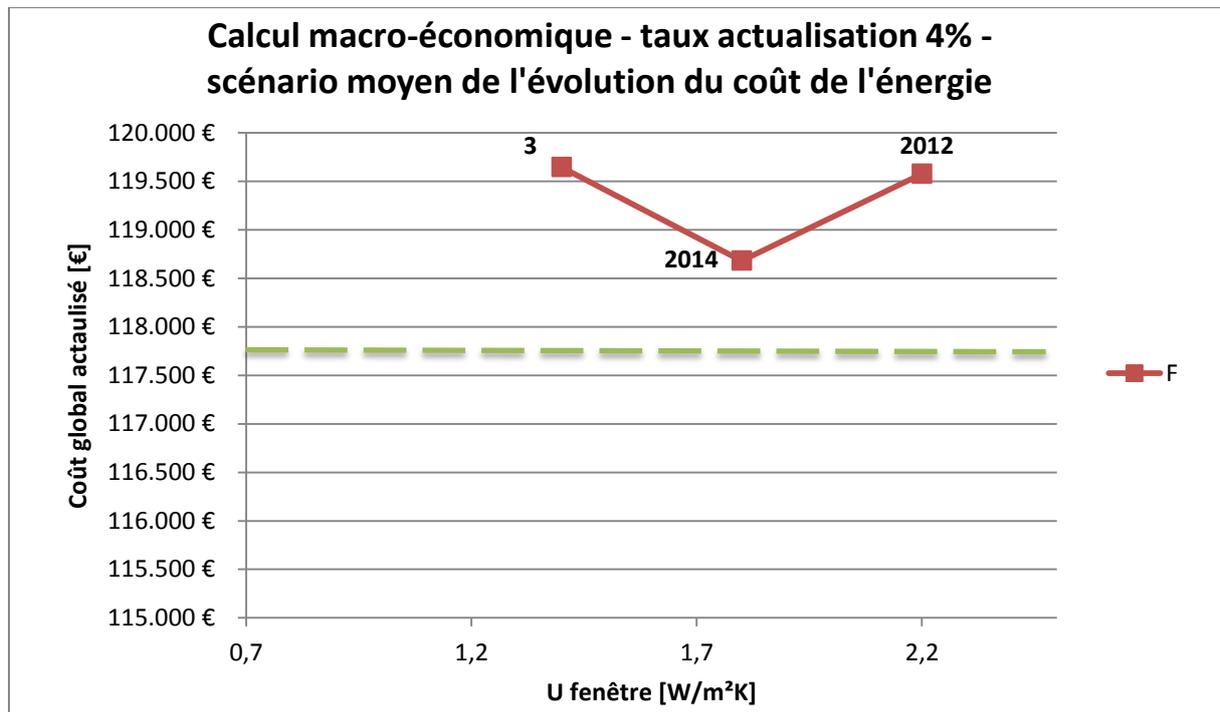


Figure 16: maison 4 façades existante ME2

La figure 17 représente l'évolution du coût global lorsqu'une nouvelle isolation de toiture est mise en œuvre. Dans ce cas, nous ne pouvons pas déterminer un optimum. Néanmoins le coût global ne diminue pas de manière très significative : seulement 300€ sur un coût global de 118 000€.

Les conclusions que l'on peut donc tirer de ces trois premiers graphiques sont identiques aux conclusions tirées pour la maison ME1.

Néanmoins, pour cette habitation, isoler le toit n'est pas rentable car le coût global actualisé d'une maison dont la toiture est isolée est plus élevé que le coût global actualisé de la maison de base (sans aucune amélioration thermique). L'écart entre les coûts est assez faible et se réduit lorsque l'on isole de plus en plus : 1 000€ entre la maison de base et la maison dont la toiture est isolée selon les caractéristiques '3'.

Donc, une fois de plus, mieux vaut isoler la toiture le plus possible.

La surface de la toiture pour l'habitation ME2 est légèrement plus grande que pour l'habitation ME1, donc l'investissement doit être plus important.

De plus, ME1 étant une maison mitoyenne, la toiture correspond à 27,37% des surfaces de déperditions, alors que pour ME2 la toiture ne représente que 23,72% des surfaces de déperditions. Cela signifie que même en isolant la toiture de ME2, il reste une proportion plus grande de surfaces de déperditions non isolées et que donc il faut plus d'énergie pour chauffer l'habitation, sur 30 ans.

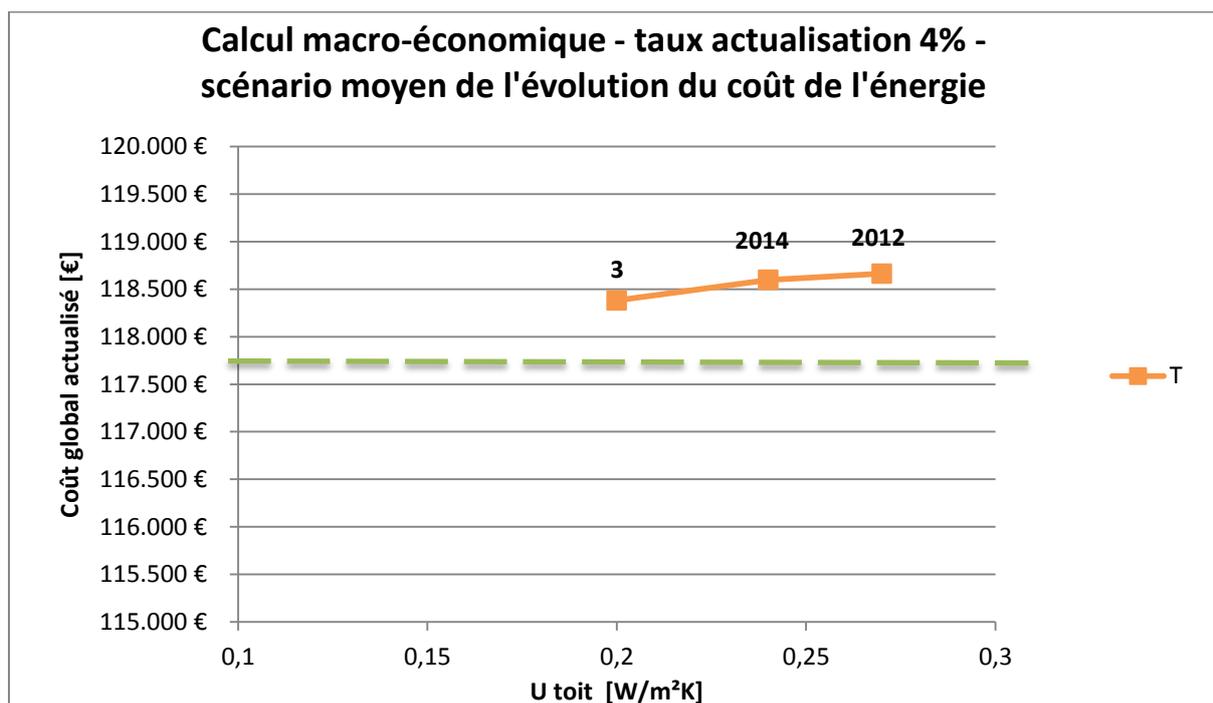


Figure 17: maison 4 façades existante ME2

La figure 18 montre un optimum pour le remplacement des fenêtres uniquement '2014'. L'écart de 1 000€ entre cet optimum et les autres points est encore une fois assez faible par rapport au coût global (de 118 000€).

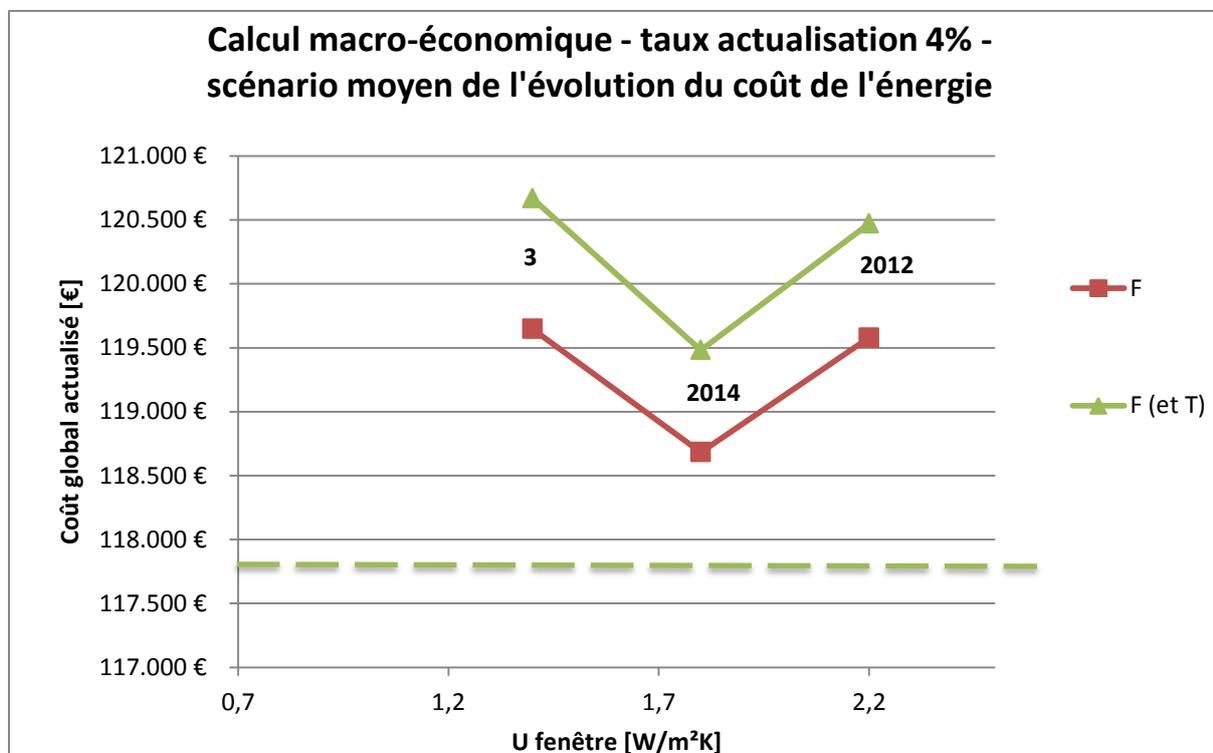


Figure 18: maison 4 façades existante ME2

Le graphique de la figure 19 permet d'avoir une vision plus globale de toutes les combinaisons réalisées (mesures-groupes-variantes) selon le U_w de la fenêtre. Si on ne considère pas la courbe

bleu clair qui est un cas assez rare (présence de caves ou de vide ventilé sur toute l'habitation), l'optimum général correspond au remplacement des fenêtres seules '2014'. S'il est possible d'isoler la dalle de sol par l'extérieur (par la cave ou le vide ventilé), alors il est intéressant de réaliser un investissement de base plus important et d'isoler toute l'habitation de manière passive car sur les 30 ans, l'économie d'énergie réalisée compense celui-ci.

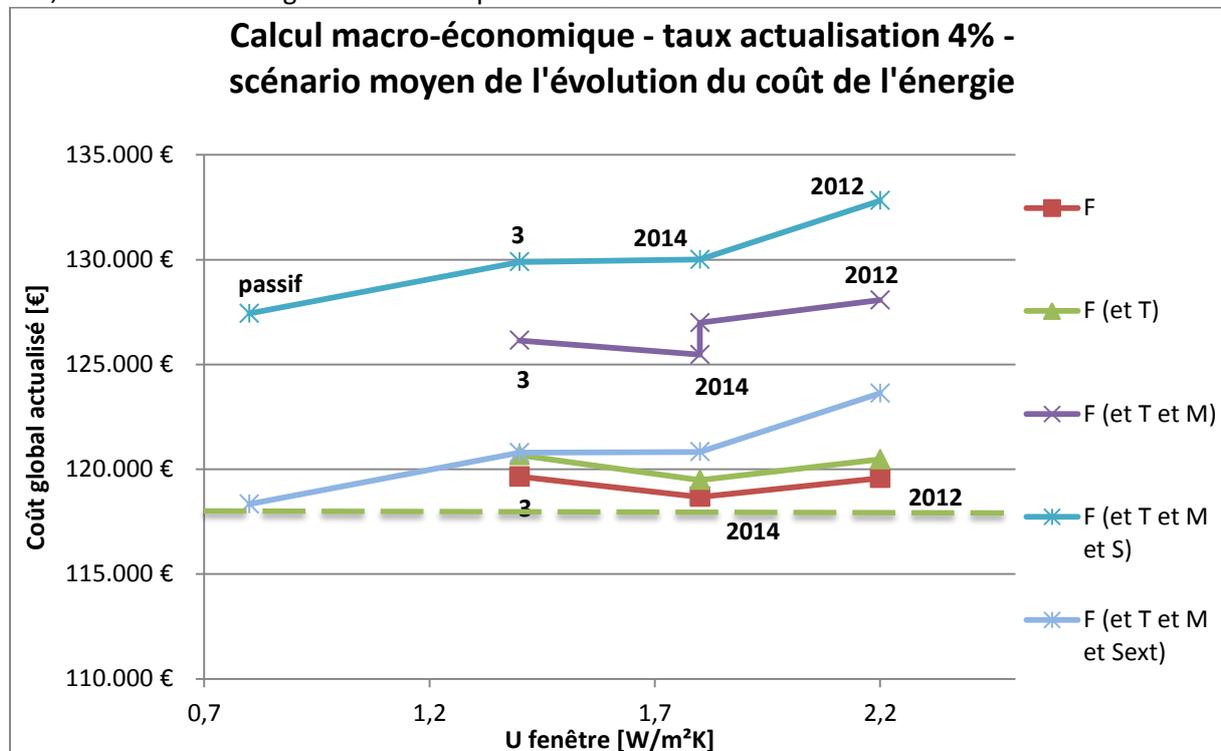


Figure 19: maison 4 façades existante ME2

Le graphique 20 présente les résultats pour un scénario d'évolution du coût de l'énergie **faible**, selon le U_w de la fenêtre. L'optimum correspond clairement au remplacement des fenêtres uniquement '2014'.

Ces résultats sont quasiment l'inverse des résultats de l'habitation ME1. Cela est dû aux caractéristiques géométriques de l'habitation .

La surface des fenêtres est plus petite pour ME2 que pour ME1, l'investissement initial doit donc être moins important pour la maison ME2.

Les murs occupent la plus grande partie de la surface de déperditions (42%), ce qui implique que l'investissement initial pour l'isolation des murs est très importante.

Le plancher occupe près de 25% de la surface de déperditions, de plus c'est la dalle de sol qui coûte très cher à isoler.

Les investissements initiaux, principalement ceux pour l'isolation des murs et du sol, ne sont pas rentables car même une période d'utilisation de 30 ans, c'est la maison de base qui est la plus intéressante et présente le coût global actualisé le plus faible.

Cela est également dû à l'isolation déjà présente dans les murs et dans la toiture dans cette habitation ME2 « base ».

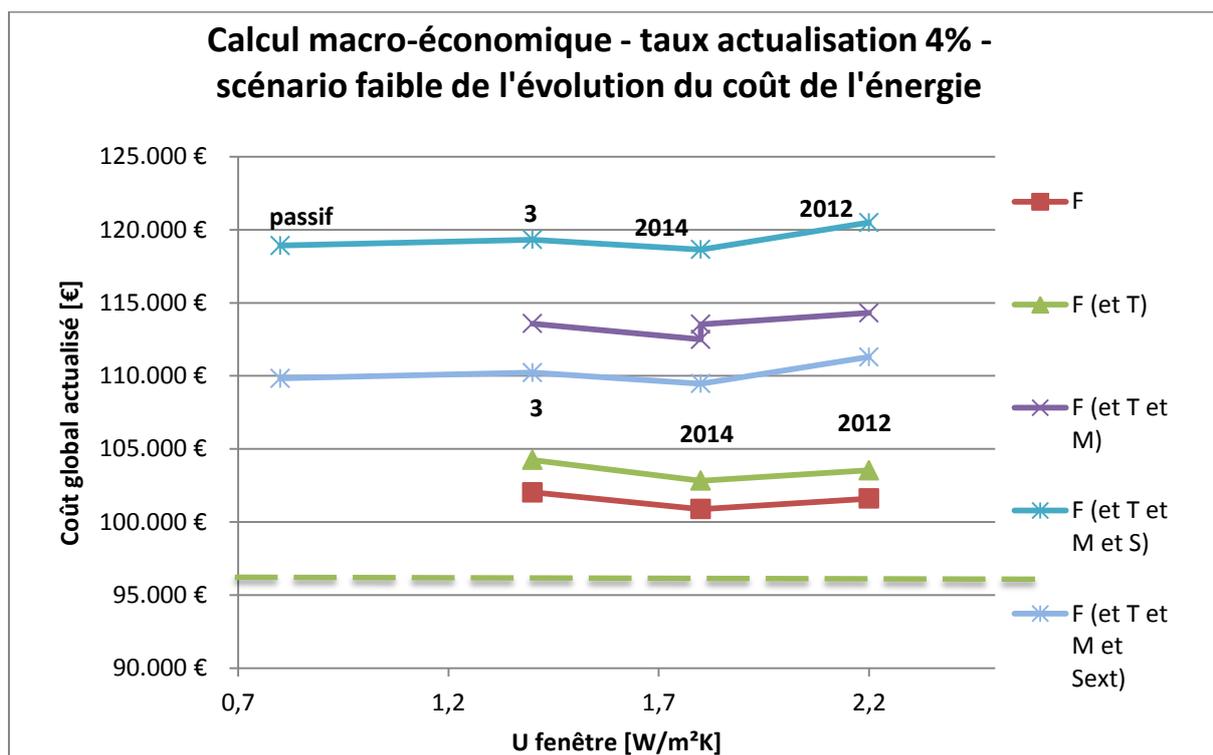


Figure 20: maison 4 façades existante ME2

Les graphiques 21 et 22 ci-dessous présentent les différentes combinaisons de mesures envisagées données en fonction du U de la toiture (en abscisse).

Pour un scénario **moyen** du coût de l'énergie, il « suffit » d'isoler la toiture au niveau '3' pour arriver à un optimum ou d'isoler encore plus car cette courbe est décroissante. Mais ces variantes ne sont pas envisagées dans cette étude. Seules les variantes décrites dans le rapport sur les bâtiments de référence (pages 34 & 35) ont été étudiées.

Pour le scénario **élevé** d'évolution du coût de l'énergie (évolution de 3,5% à la figure 22), l'optimum est bien différent : la courbe orange d'isolation du toit se retrouve tout au-dessus avec le coût global le plus élevé. Dans ce cas, il faudrait privilégier une isolation complète de l'habitation de type passive ou encore plus poussée pour atteindre, peut-être, un optimum. Les courbes bleues plongent vers un coût global de plus en plus bas. Ces variantes plus poussées n'ont pas été envisagées dans le cadre de cette étude.

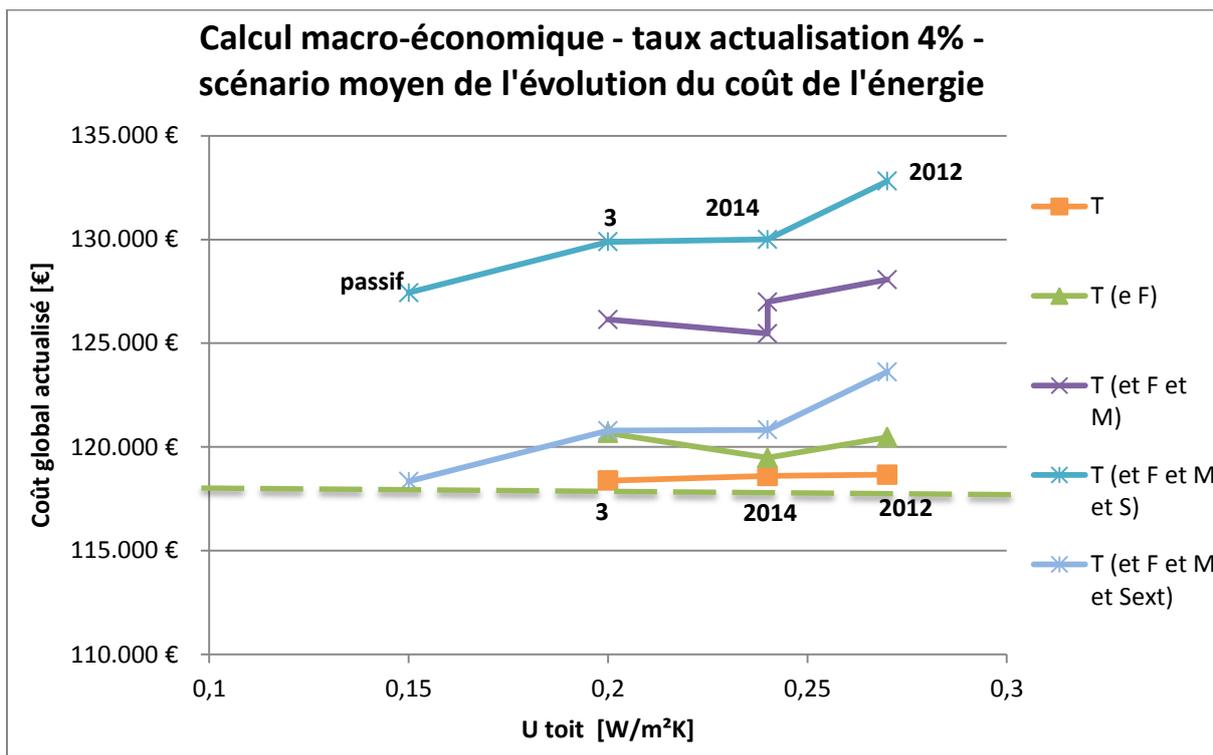


Figure 21 : maison 4 façades existante ME2

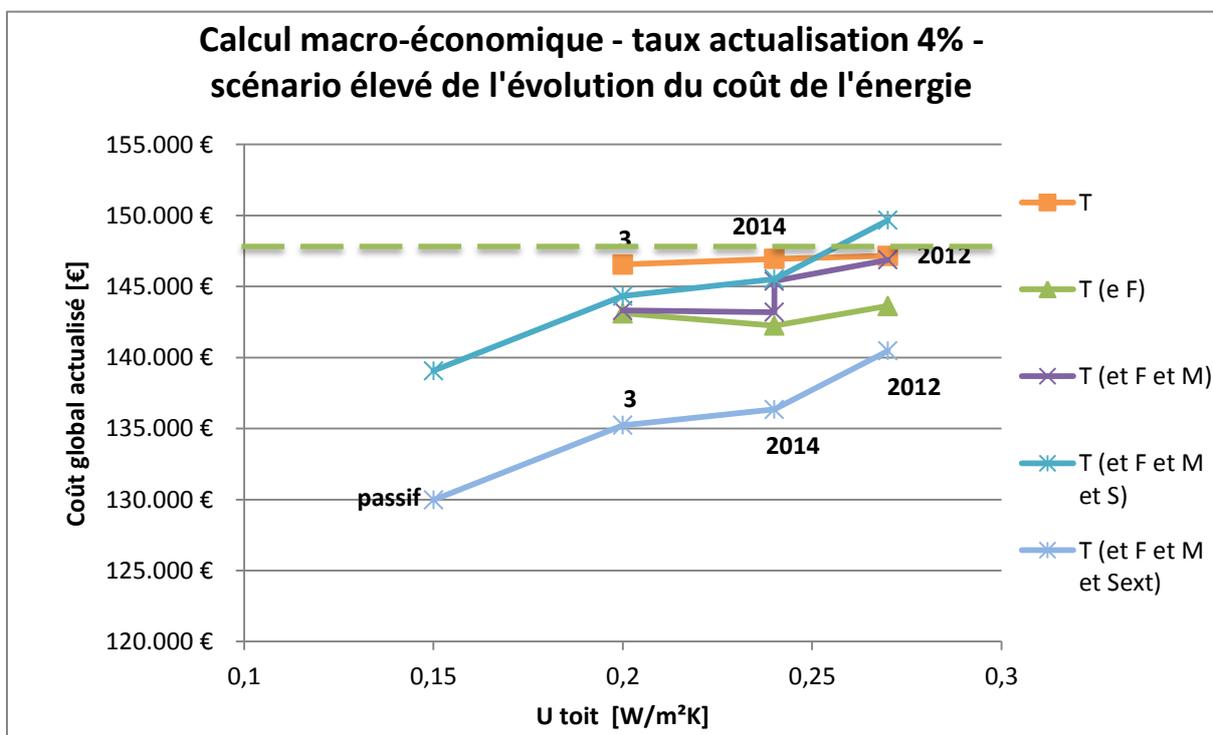


Figure 22 : maison 4 façades existante ME2

Les graphiques des figures 23 et 24 présentent les résultats respectivement pour le U des murs et le U du sol.

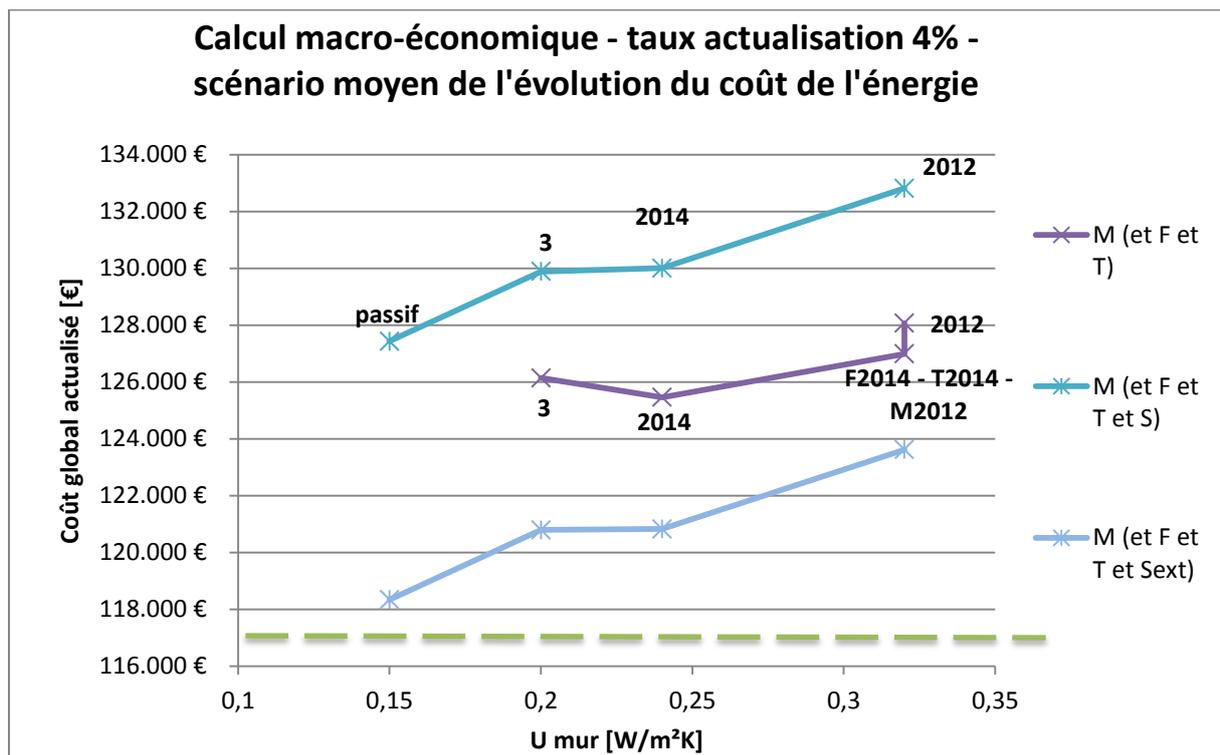


Figure 23 : maison 4 façades existante ME2

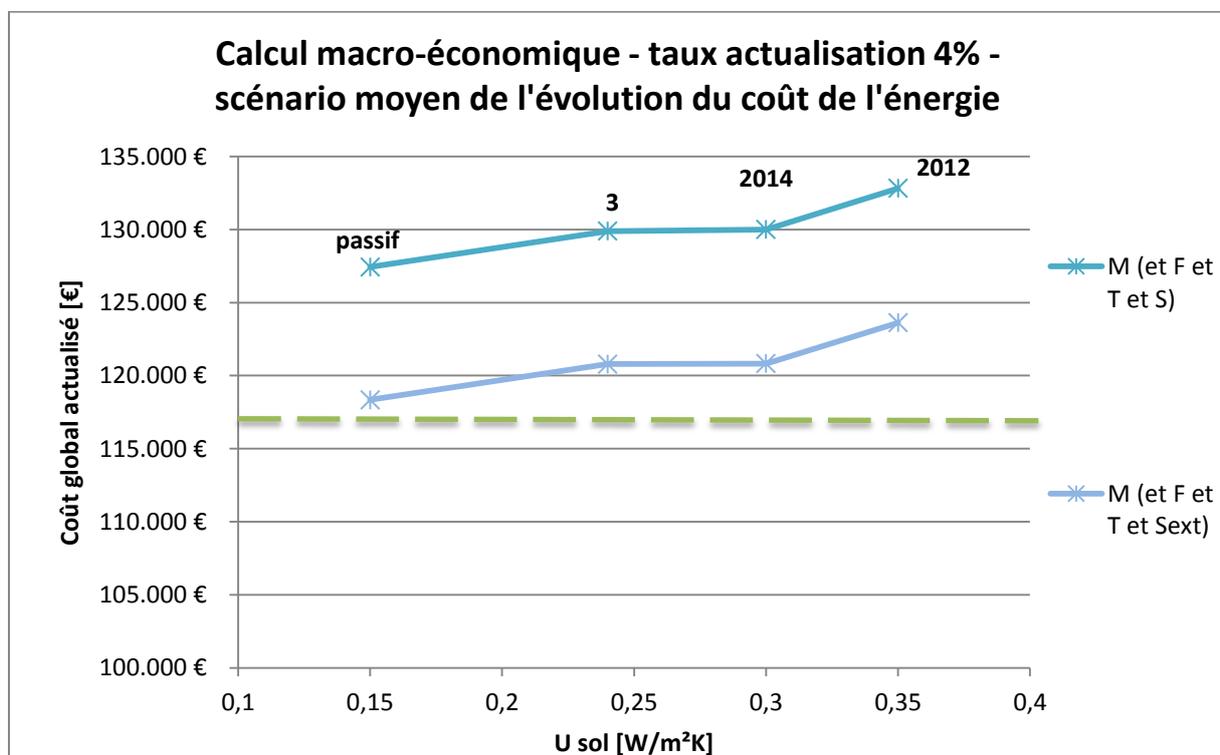


Figure 24 : maison 4 façades existante ME2

On observe l'incidence du scénario d'évolution du coût de l'énergie sur la figure 25 ci-dessous. Plus le coût de l'énergie est élevé, plus le coût global est élevé. Néanmoins les écarts relatifs (entre les scénarii d'évolution du coût de l'énergie) diminuent quand l'isolation augmente.

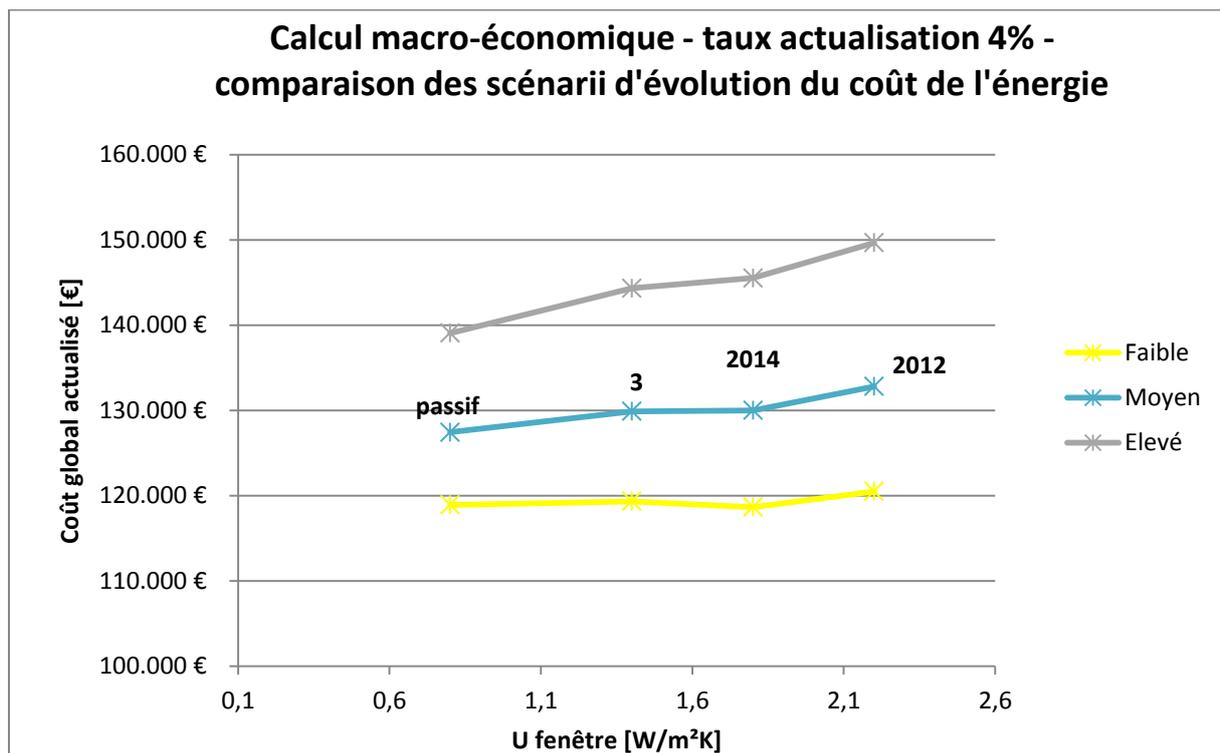


Figure 25 : maison 4 façades existante ME2

La figure 26 compare le calcul financier **sans les subventions** et calcul macro-économique pour un taux d'actualisation de 4% et un scénario moyen du coût de l'énergie. Dans ce cas, les deux courbes sont parallèles, comme pour l'habitation ME1.

La figure 26 compare également le calcul financier et le calcul macro-économique et permet donc d'observer l'influence des subventions. Les primes permettent de diminuer le coût global car la courbe du calcul financier se retrouve proche et même sous la courbe du calcul macro-économique. Les subventions sont d'autant plus intéressantes que l'isolation de l'habitation est poussée, de manière similaire à ce que l'on a observé pour ME1.

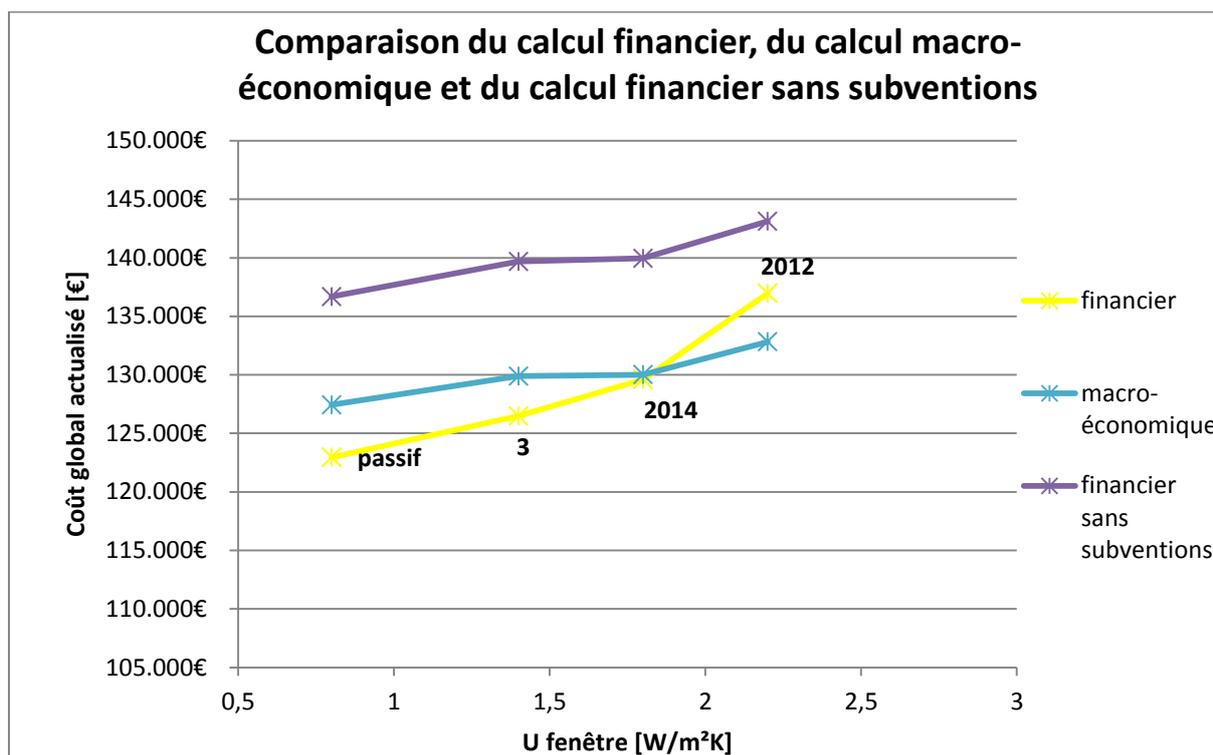


Figure 26 : comparaison du calcul financier, du calcul macro-économique et du calcul financier sans subventions – taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie - maison 4 façades existante ME2

De manière générale, pour ME1 et ME2, nous avons observé l'optimum avec les caractéristiques thermiques de 2014. Actuellement les exigences 2012 sur les U des parois ne correspondent pas à un optimum. Néanmoins, les caractéristiques thermiques de 2014 sont d'ores et déjà imposées pour le 1^{er} janvier 2014 ! Nous nous dirigeons donc progressivement vers l'optimum.

Cette partie de rapport reprenait les résultats obtenus individuellement pour chaque habitation. Dans la suite du rapport, aux pages 75 et suivantes, il faut « pondérer » les résultats dans un graphique commun de synthèse, qui tiendra compte des proportions de bâtiments existants ME1 et ME2 et qui intégrera également les résultats des immeubles à appartements. En effet, il est précisé dans les « guidelines », qu'il faut présenter les résultats en fonction de leur représentativité du parc immobilier wallon des bâtiments existants.

3. Bâtiments résidentiels « immeubles d'appartements » existants

Les coûts des mesures / groupes / variantes étudiés pour les bâtiments existants sont définis uniquement pour les modifications portantes sur l'enveloppe des bâtiments, c'est-à-dire sur :

- les parois opaques ;
- les fenêtres (vitrage seul ou châssis et vitrage) ;
- le plancher ;
- la toiture.

Les graphiques analysés présentent le coût global des mesures/groupes/variantes envisagées en fonction du U [W/m^2K] d'une des parois de déperdition.

AE1 – Appartements dans un immeuble divisé en plusieurs unités de logements

Cette analyse des résultats comporte deux parties : la première traite les mesures/groupes/variantes relatives au bâtiment principal uniquement et la seconde traite les mesures/groupes/variantes relatives au bâtiment principal **et** à l'annexe située à l'arrière du bâtiment.

BÂTIMENT PRINCIPAL

La figure 27 permet de situer l'immeuble d'appartements de référence (« base ») par rapport aux autres mesures/groupes/variantes étudiées. Le niveau K de l'habitation de « base » est le plus élevé (niveau K 129) mais son coût global actualisé est plus bas par rapport à la plupart des autres mesures/groupes/variantes étudiées. Ces dernières ont souvent un coût global actualisé supérieur au bâtiment de référence et un niveau K plus faible.

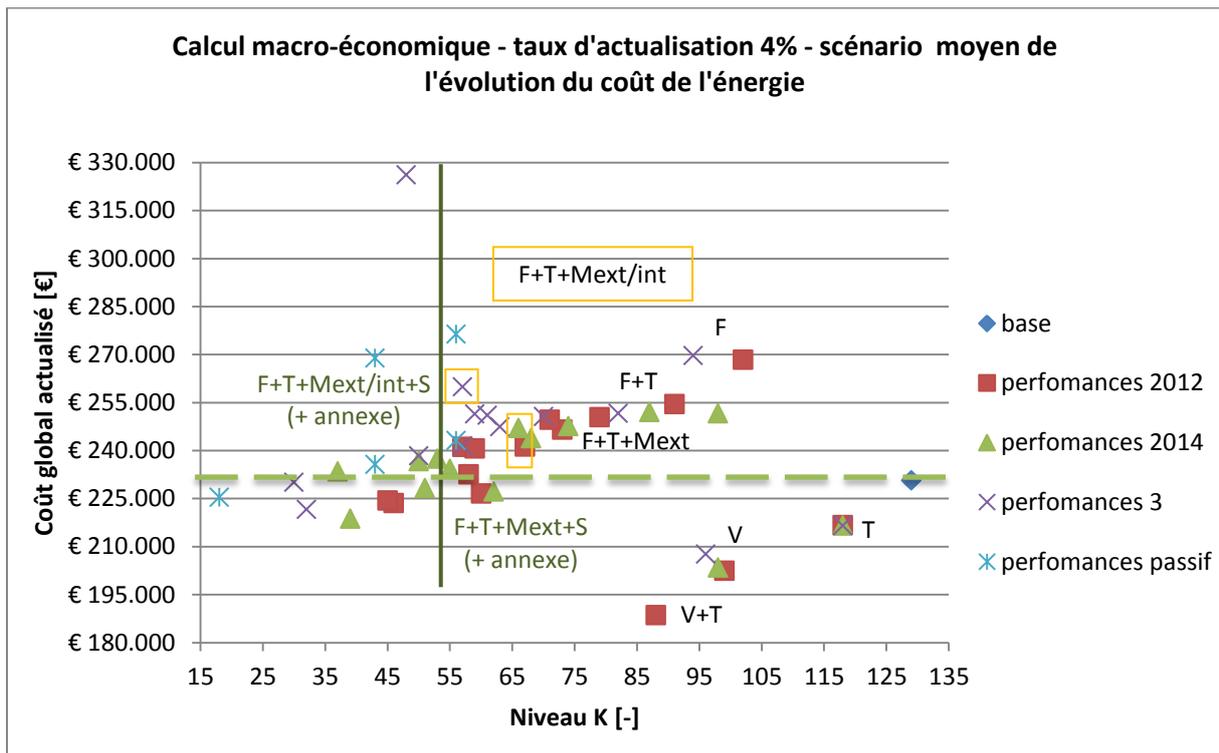


Figure 27 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du niveau K

L'évolution du coût global lorsque de nouveaux vitrages aux caractéristiques thermiques de 2012 ($U_g=1.3W/m^2K$), de 2014 ($U_g=1.1W/m^2K$) ou '3' ($U_g=0.8W/m^2K$) sont placés est illustré dans le graphique ci-dessous (figure 28). Dans ce cas, plus le vitrage placé est performant, plus le coût global augmente. En effet, il augmente d'environ 5.160 € sur un budget total de 202.500 €. Il est donc plus intéressant de placer des vitrages de type 2012.

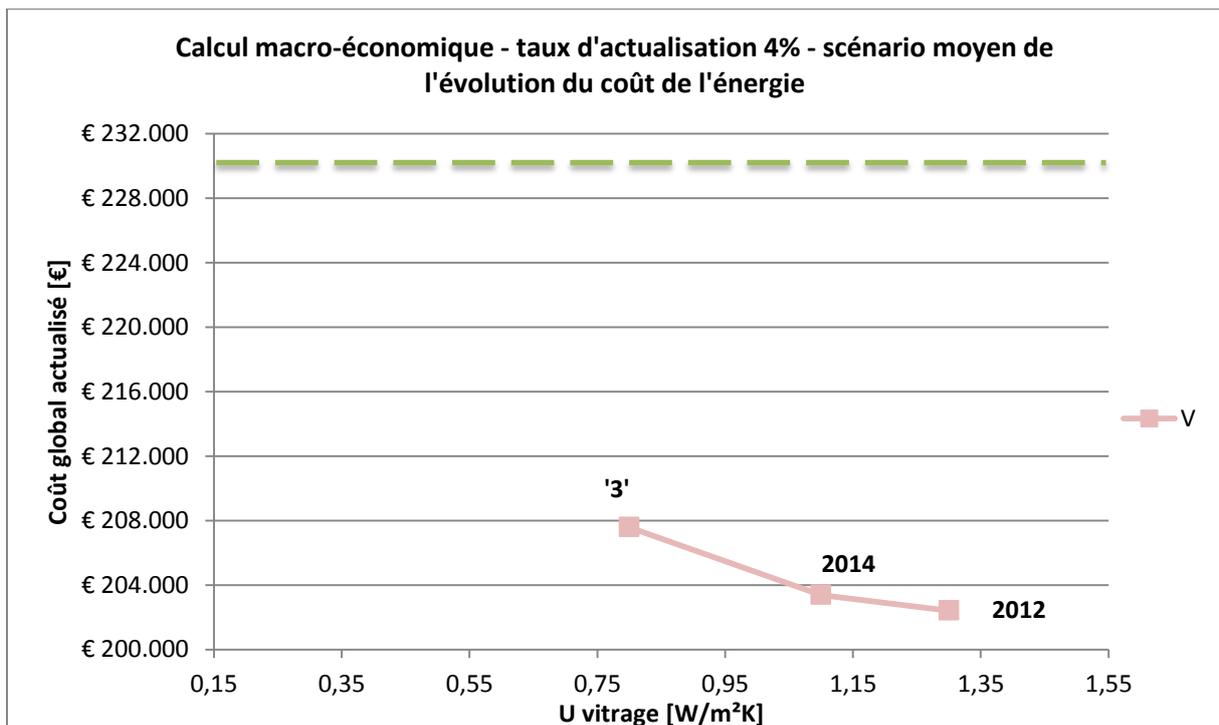


Figure 28 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du vitrage (V)

Par contre, l'optimum peut être observé lors du remplacement des fenêtres : il correspond aux caractéristiques thermiques de 2014. Le prix à l'investissement de la fenêtre de type « 2012 » et '3' est trop élevé par rapport aux gains énergétiques réalisés sur 30 ans. Toutefois, cet optimum est plus élevé que le coût global actualisé de l'immeuble d'appartements de base ; il n'est donc pas rentable. Similairement à l'habitation ME1, cette observation est la conséquence du coût élevé des châssis.

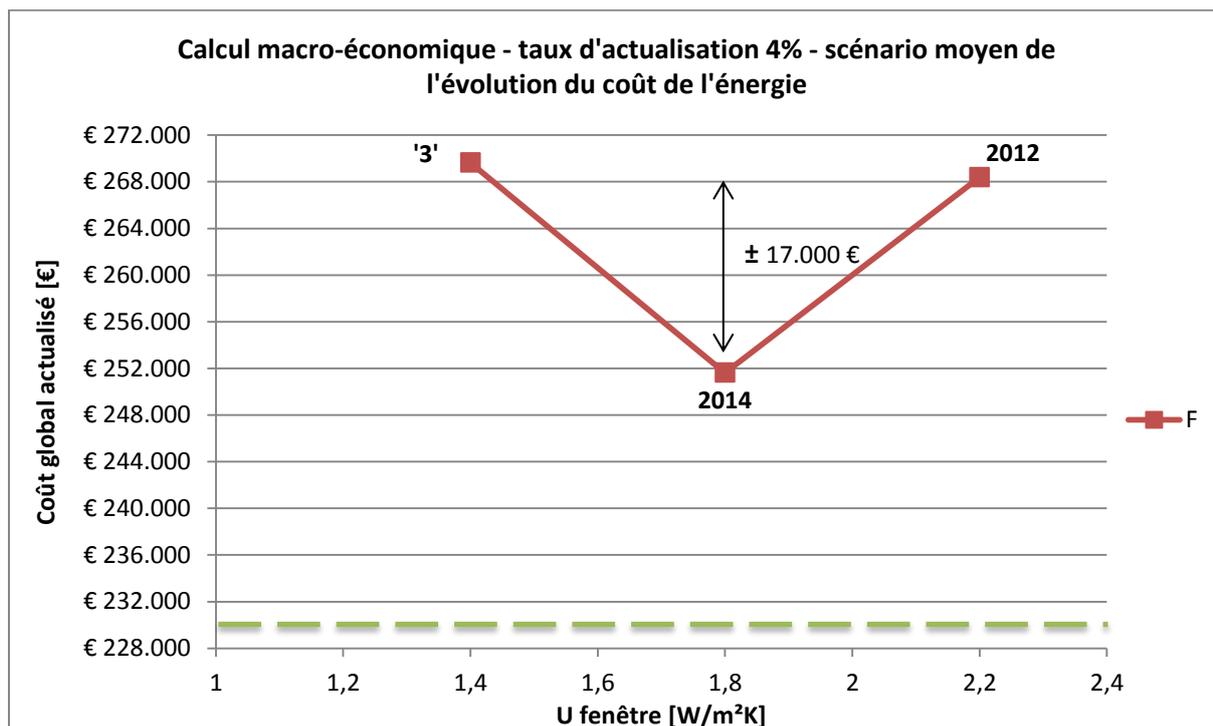


Figure 29 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U fenètre (F)

La figure 30 représente l'évolution du coût global lorsqu'une nouvelle isolation de toiture est mise en œuvre. Il n'existe pas d'optimum. L'observation tirée de ce graphique est similaire à la maison unifamiliale ME1 : plus l'isolant placé est meilleur, plus le coût global diminue (cas '3') mais faiblement (environ 200 € pour un coût global actualisé pour le cas 2012 de 216.700 €).

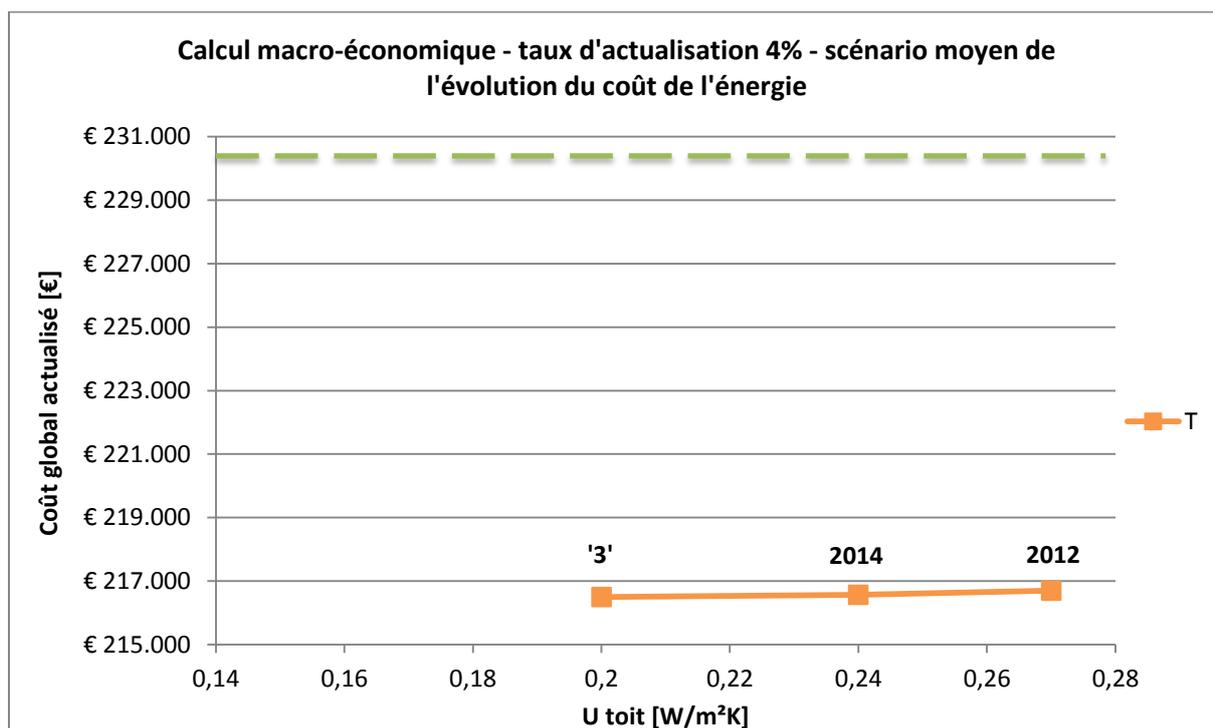


Figure 30 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la toiture (T)

La figure 31 compare :

- l'évolution du coût global lors de l'installation de nouvelles fenêtres uniquement avec ;
- l'évolution du coût global lors du placement de nouvelles fenêtres et d'une nouvelle isolation de la toiture.

L'optimum observé correspond au placement des fenêtres de type « 2014 » (dont le coût global actualisé est d'environ 251.600€). Toutefois, l'écart entre le coût global pour les fenêtres seules et celui pour la combinaison fenêtres et toiture est d'environ 360 € pour un coût global d'environ 251.600 €. Pour les autres cas (2012 et type '3'), il est plus intéressant de remplacer les fenêtres et d'isoler la toiture : ils ont respectivement un coût global actualisé moins élevé de 14.000 € et de 18.000 €. Ainsi, malgré que l'investissement de départ soit plus important dans le cas de la combinaison fenêtres et toit, l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans compense cet investissement et ce, contrairement au cas du remplacement des fenêtres uniquement. Cette conclusion est sans doute la conséquence des caractéristiques géométriques du bâtiment : la surface de la toiture est proche de celle des fenêtres (de l'ordre de 70%).

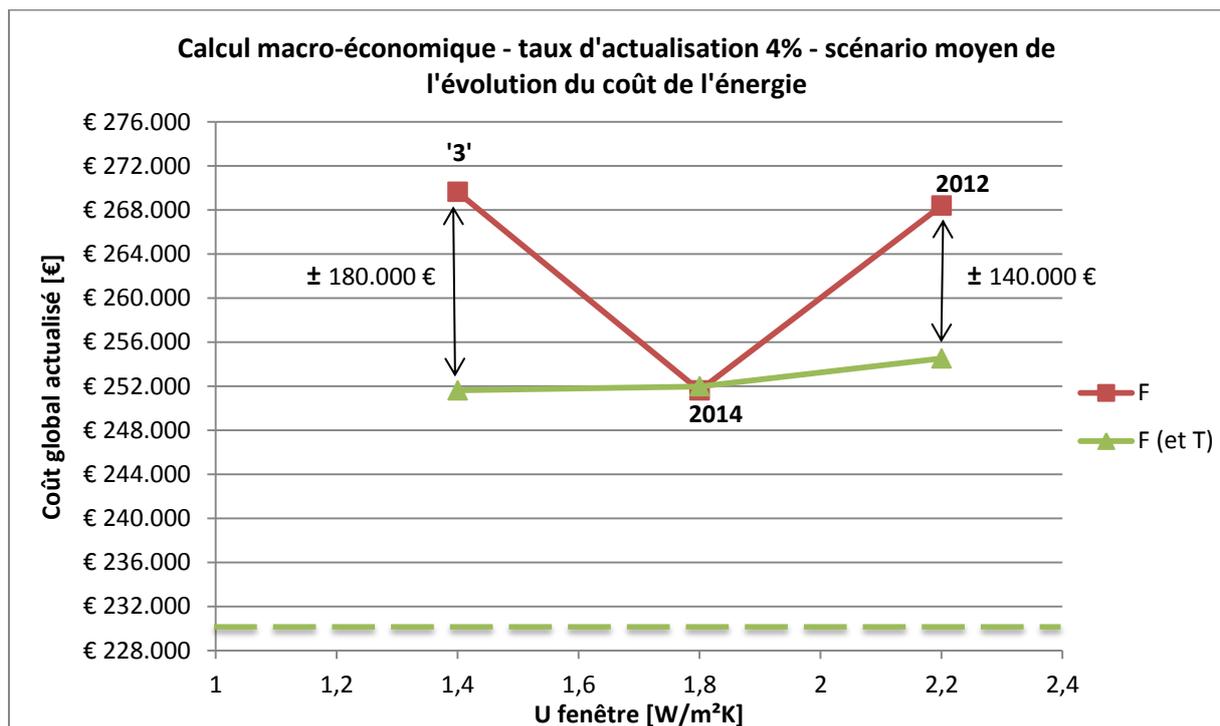


Figure 31 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U fenêtre (F | F et T)

La figure 32 illustre toutes les combinaisons réalisées (mesures-groupes-variantes) selon le U_w de la fenêtre. L'optimum général correspond à une isolation complète de l'immeuble d'appartements à l'exception du sol selon les caractéristiques thermiques de 2014 : fenêtres 2014, toiture 2014 et façades avant ET arrière 2014. Le coût global s'élève à 227.171 €.

Un immeuble d'appartements qui est entièrement isolé selon les caractéristiques thermiques de 2014 (fenêtres 2014, toiture 2014, façades avant ET arrière 2014, sol 2014) voit son coût global augmenter de 7.000 €. En poussant l'isolation jusqu'au passif pour ces parois, le coût global augmente de 8.500 € par rapport à l'optimum.

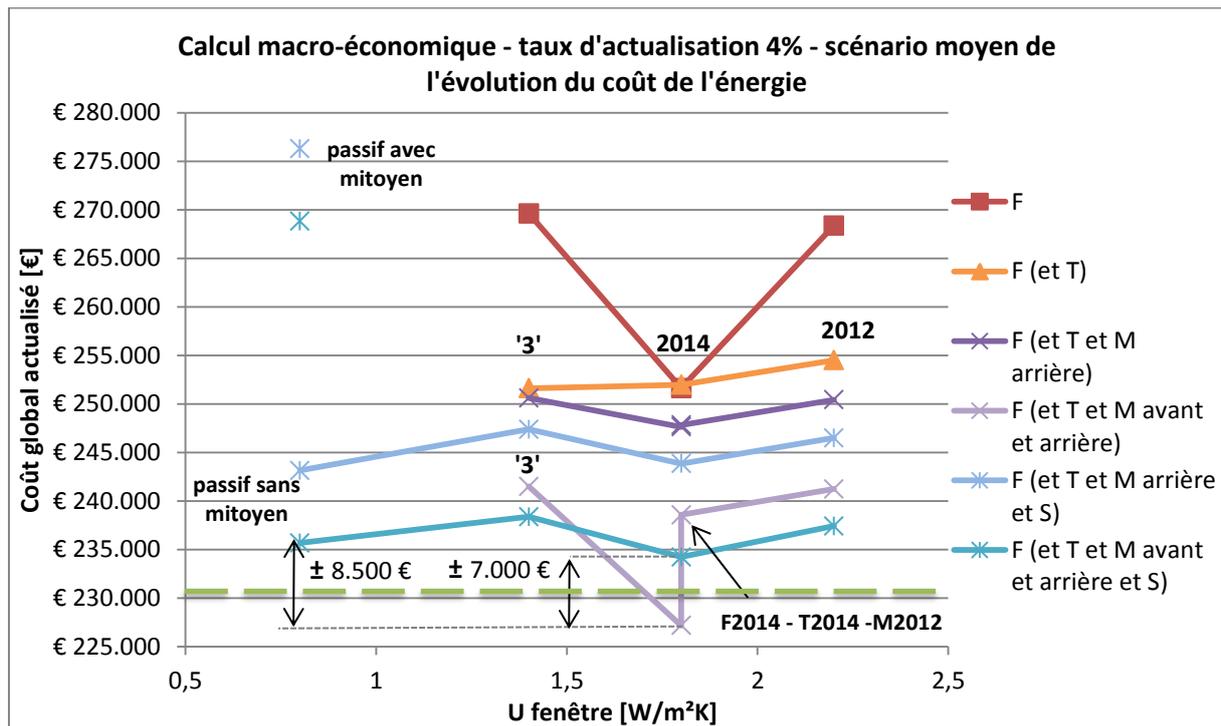


Figure 32 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U fenêtre (F|F et T|F et T et M|F et T et M et S)

De plus, ce graphique montre qu'il est moins intéressant d'isoler uniquement la façade arrière (courbes mauve foncé et bleu clair) et que le remplacement des fenêtres OU le remplacement des fenêtres combiné à l'isolation de la toiture sont des mesures/groupes/variantes qui présentent un coût global plus élevé.

La figure 33 présente les résultats pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario **faible** d'évolution du coût de l'énergie, selon le U_w de la fenêtre. L'optimum, plus marqué, est toujours identique à celui du graphique précédent.

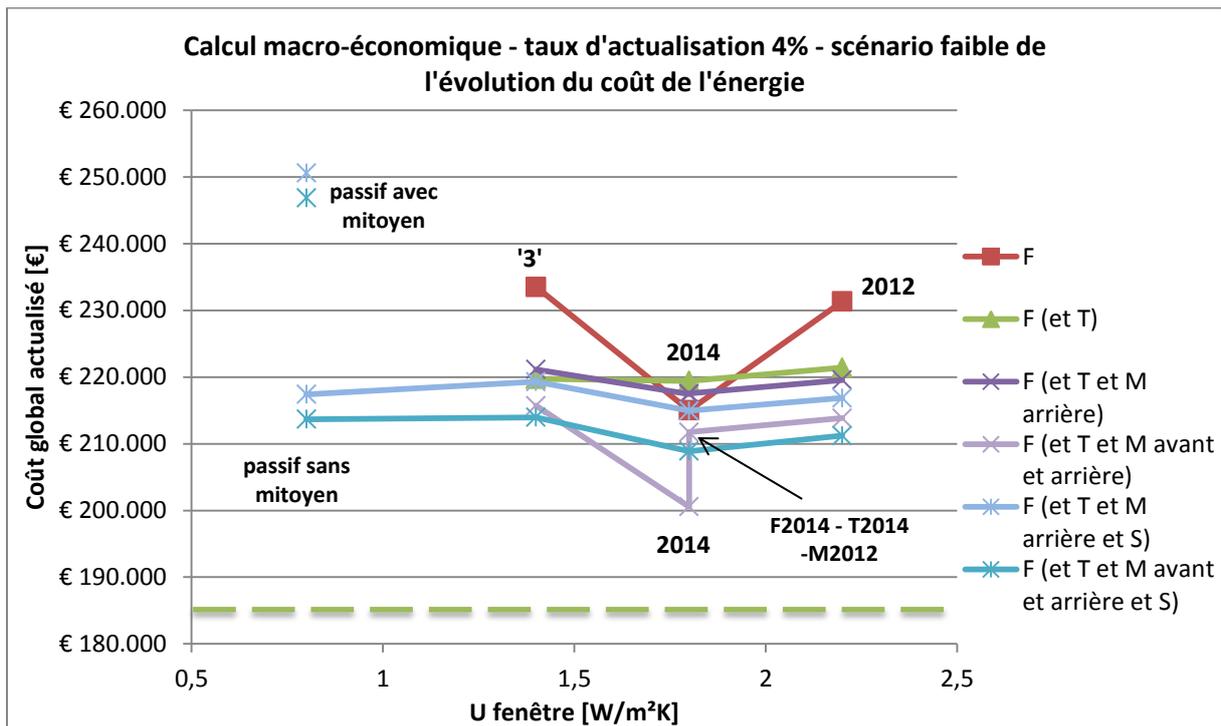


Figure 33 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U fenêtre (F|F et T|F et T et M|F et T et M et S)

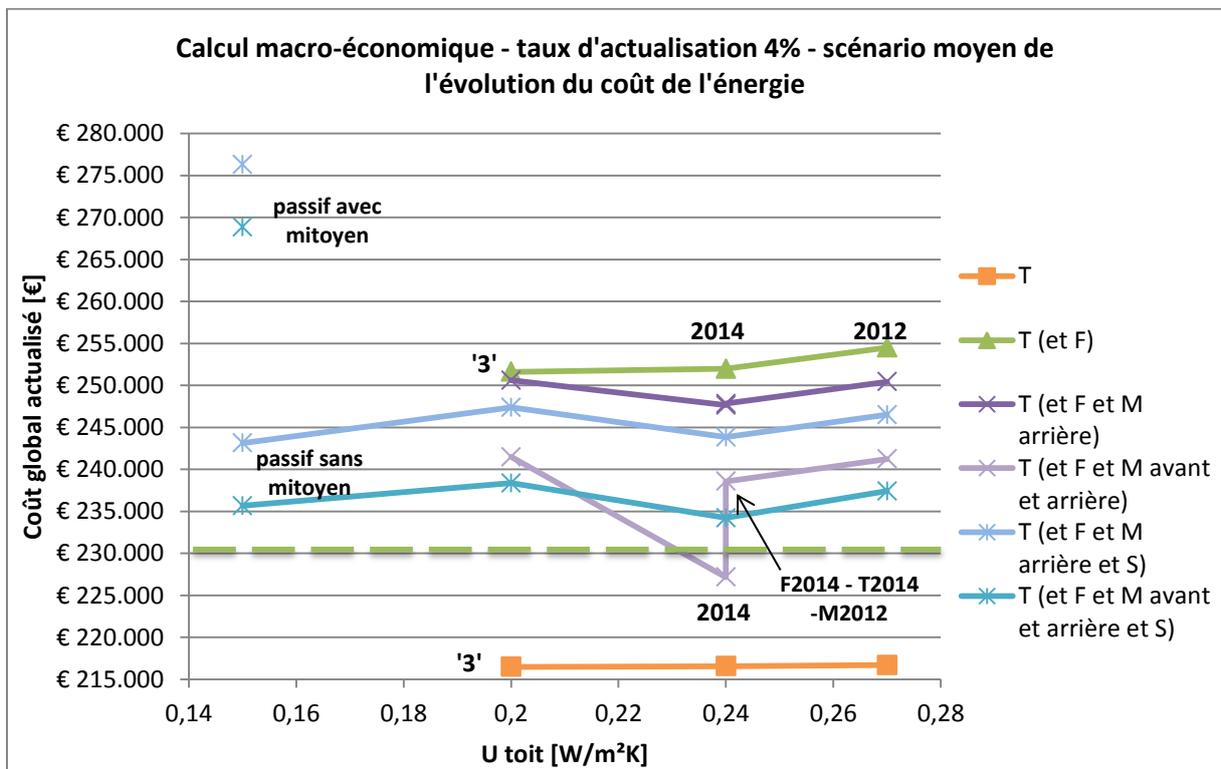


Figure 34 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U toit (T|T et F|T et F et M|T et F et M et S)

La figure 34 représente les variantes étudiées selon le U de la toiture (axe des abscisses) pour un scénario moyen du coût de l'énergie. Isoler la toiture seule est la mesure/groupe/variante qui expose les plus faibles coûts globaux actualisés. Par ailleurs, plus l'isolation de la toiture est

performante (caractéristiques thermiques de type '3'), plus le coût global diminue (faiblement). Par contre, si en plus de l'isolation de la toiture, les fenêtres sont remplacées, les coûts globaux augmentent fortement (courbe verte). Les autres combinaisons sont identiques que pour la figure 32.

Pour le scénario **élevé** d'évolution du coût de l'énergie (évolution de 3,5%), l'optimum est différent (figure 35) : il correspond à une isolation complète de l'immeuble d'appartements à l'exception du sol selon les caractéristiques thermiques de 2014 : fenêtres 2014, toiture 2014 et façades avant ET arrière 2014. L'isolation de la toiture seule devient moins intéressante par rapport au coût optimum mais reste tout de même meilleure par rapport aux mesures/groupes/variantes suivants :

- isolation de la toiture et remplacement des fenêtres ;
- isolation de la toiture et remplacement des fenêtres et isolation de la façade arrière ;
- isolation de la toiture et remplacement des fenêtres et isolation de la façade arrière et du sol.

L'isolation de type passive (sans les murs mitoyens) des courbes bleues (clair et foncé) tendent de plus en plus vers le bas, c'est-à-dire vers l'optimum.

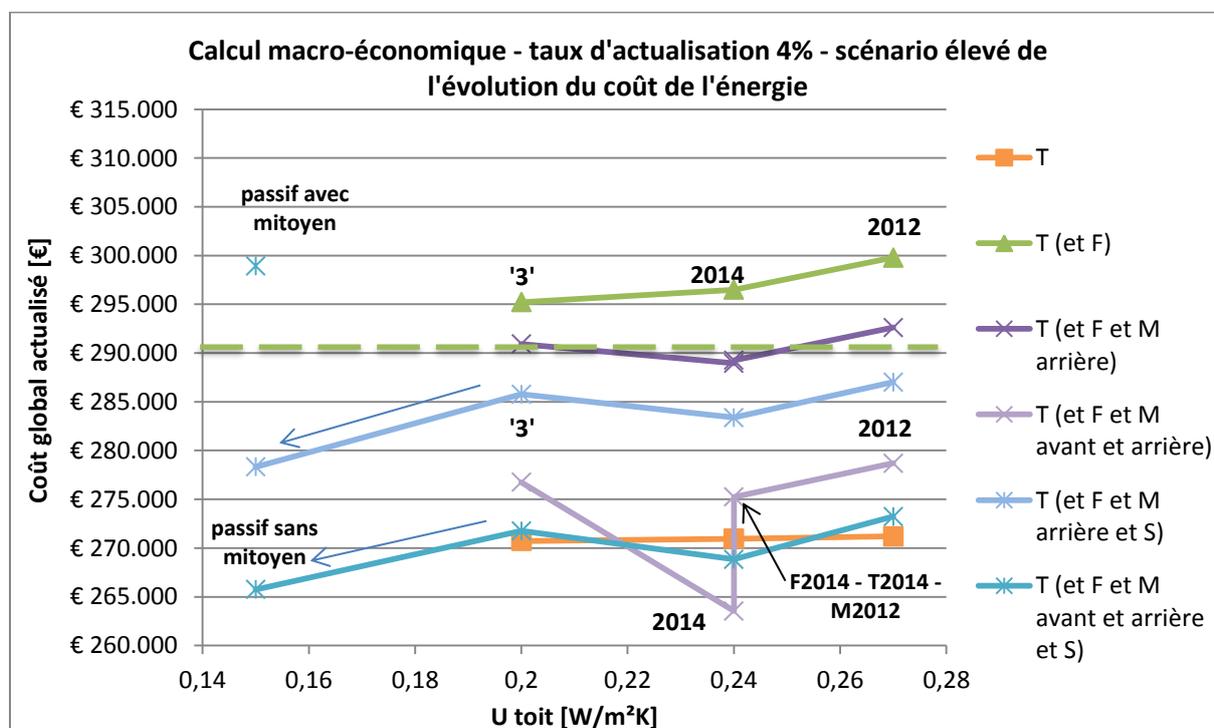


Figure 35 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction de l'U toit (T|T et F|T et F et M|T et F et M et S)

Les figures 36 et 37 présentent les résultats respectivement en fonction de l'U des murs et de l'U du sol.

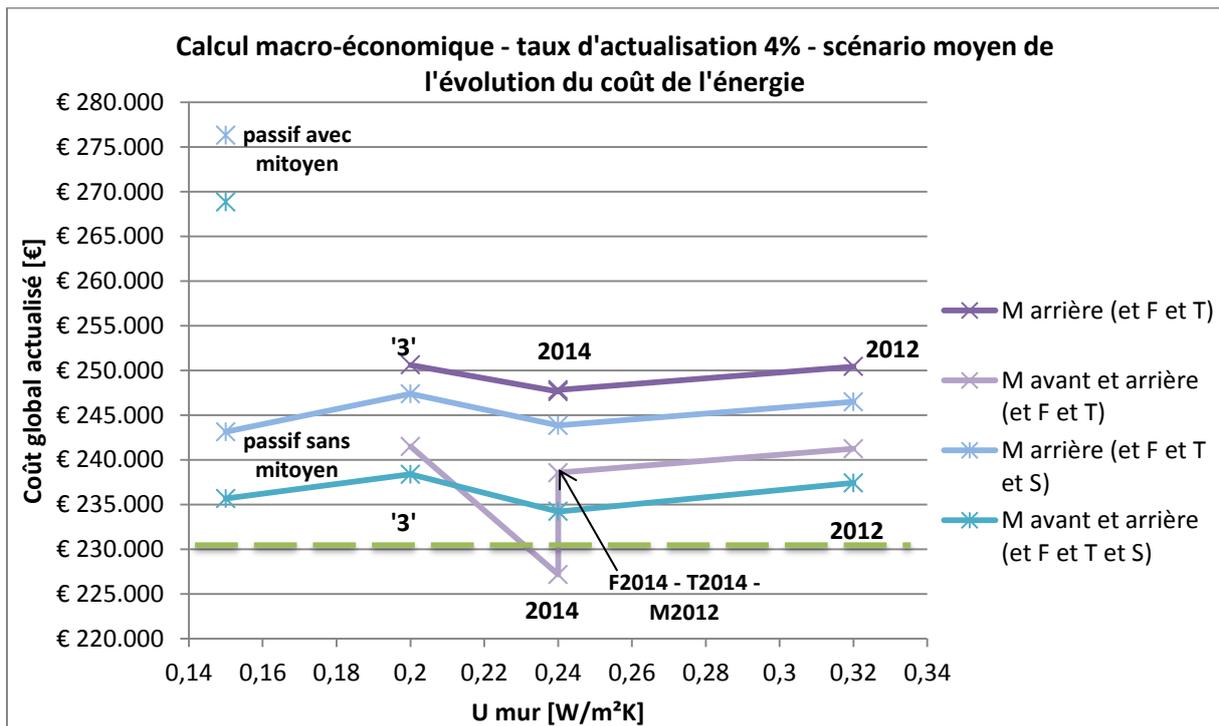


Figure 36: AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du mur (M et F et T | M et F et T et S)

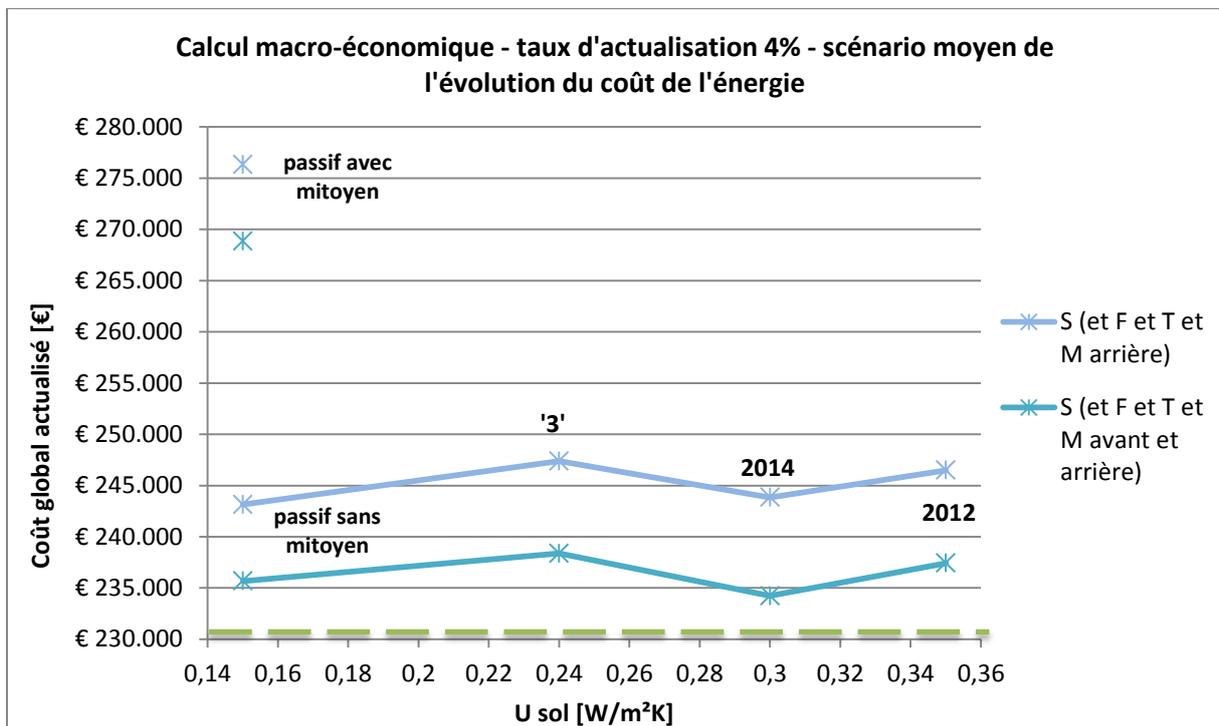


Figure 37 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du sol (M et F et T | M et F et T et S)

Le graphique ci-dessous (figure 38) illustre le coût global actualisé en fonction du U_w de la fenêtre pour une isolation complète du bâtiment selon trois scénarii d'évolution du coût de l'énergie (faible, moyen, élevé).

Plus le coût de l'énergie est élevé, plus le coût global est élevé. Toutefois, les écarts relatifs entre les

scenarii d'évolution du coût de l'énergie diminuent quand l'isolation augmente.

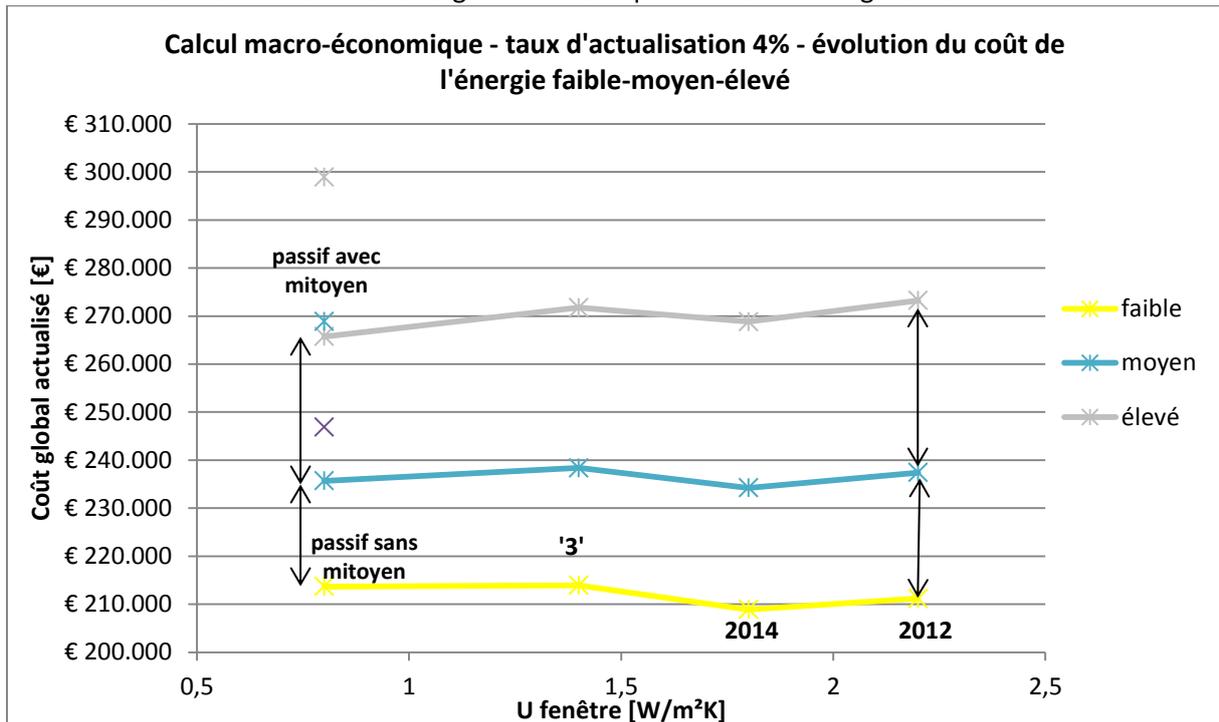


Figure 38 : AE1 - calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - évaluation du coût de l'énergie faible-moyen-élevé : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre (F et T et M et S)

Le graphique de la figure 39 permet de comparer le calcul financier et le calcul macro-économique pour un taux d'actualisation de 4 % et un scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie pour une isolation complète du bâtiment.

Pour toutes les mesures/groupes/variantes, le coût global est plus élevé pour le calcul financier.

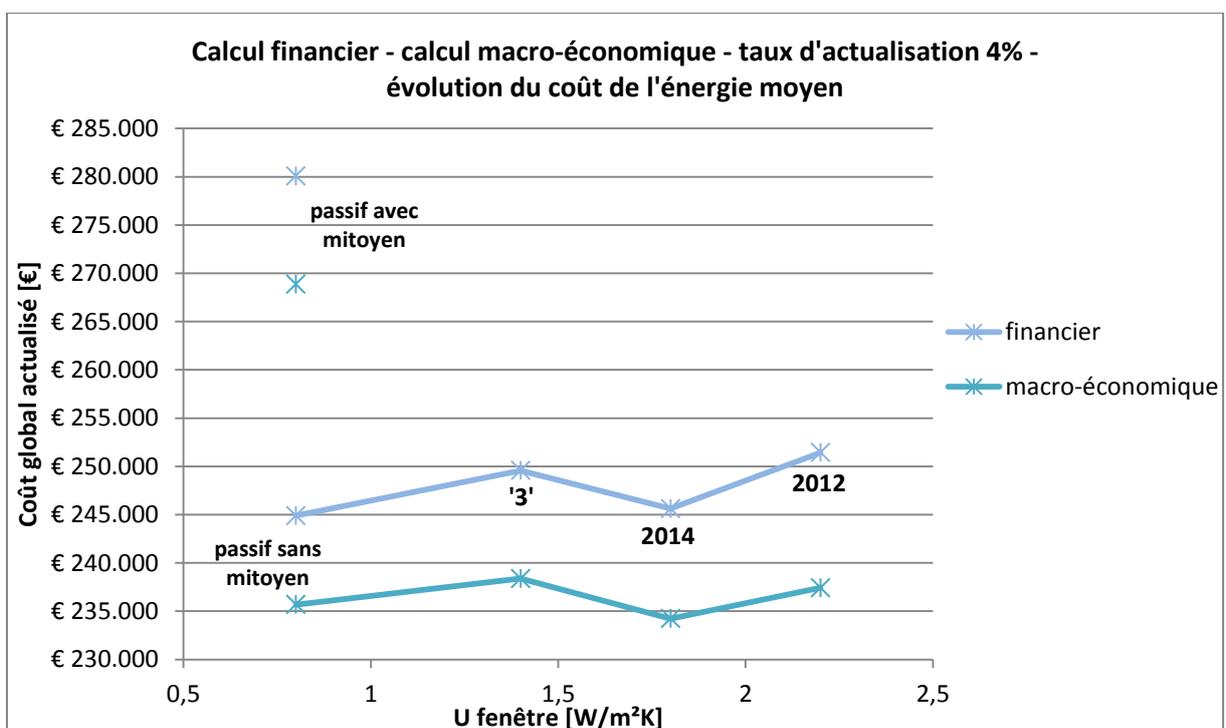


Figure 39 : AE1 - comparaison calcul financier et calcul macro-économique – taux d'actualisation 4% - scénario moyen de

L'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U fenêtre (F et T et M et S)

BÂTIMENT PRINCIPAL ET ANNEXE

La figure 40 illustre toutes les combinaisons réalisées en fonction du U du toit de l'annexe quand le bâtiment principal est isolé. Les mesures inscrites dans la légende du graphique concernent :

- celles du bâtiment principal (aucune mesure ne porte sur l'annexe) :
 - o soit le remplacement des fenêtres, l'isolation du toit, l'isolation de la façade arrière par l'extérieur uniquement et l'isolation du plancher/sol (courbe bleue claire);
 - o soit le remplacement des fenêtres, l'isolation du toit, l'isolation de la façade arrière par l'extérieur ET de la façade avant par l'intérieur et l'isolation du plancher/sol (courbe bleu foncé).
- celles de l'annexe (annoté par la lettre « A » sur le graphique) pour lesquelles le bâtiment principal présente :
 - o soit le remplacement des fenêtres, l'isolation du toit, l'isolation de la façade arrière par l'extérieur uniquement et l'isolation du plancher/sol (courbes verte, mauve foncé et rouge) ;
 - o soit le remplacement des fenêtres, l'isolation du toit, l'isolation de la façade arrière par l'extérieur ET de la façade avant par l'intérieur et l'isolation du plancher/sol (courbes orange, mauve clair et rose).

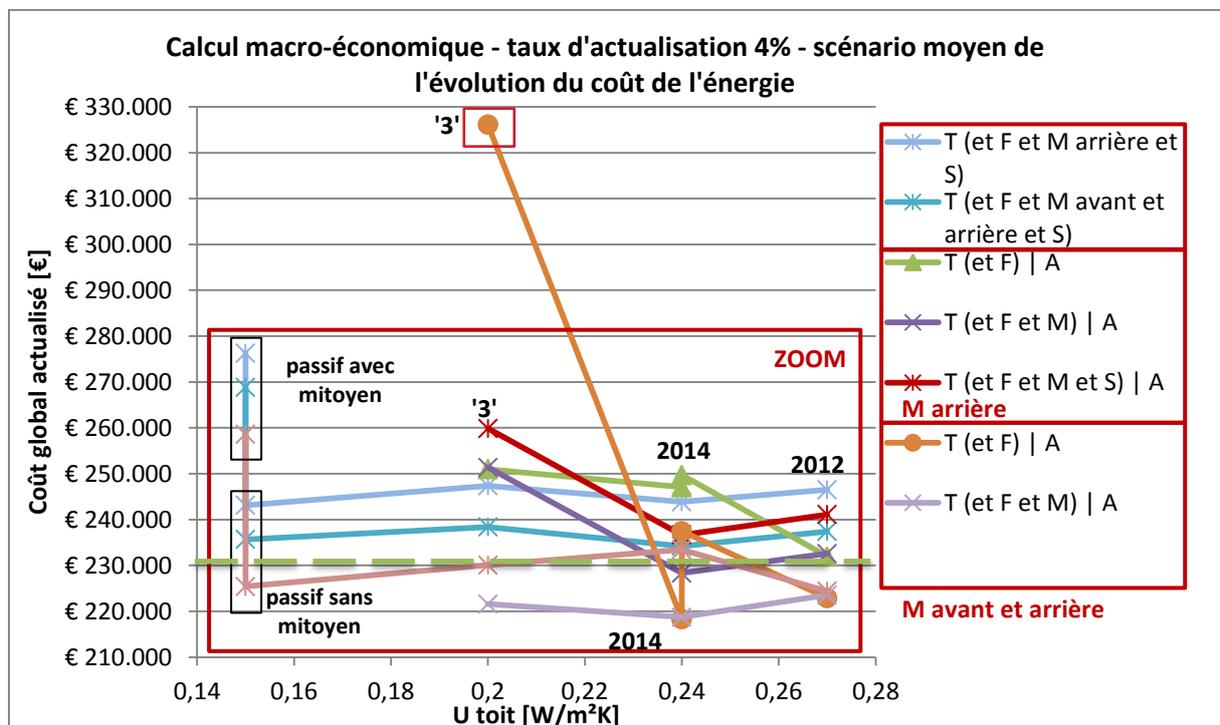


Figure 40 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit (annexe comprise) (T|T et F|T et F et M|T et F et M et S)

Deux optimums sont observés : le premier correspond à la combinaison du remplacement des fenêtres avec l'isolation de la toiture de l'annexe selon les caractéristiques thermiques de 2014 : fenêtres 2014 et toiture 2014 (courbe orange) et le second à la combinaison du remplacement des fenêtres avec l'isolation de la toiture et des murs extérieurs de l'annexe selon les caractéristiques

thermiques de 2014 : fenêtres 2014, toiture 2014, murs 2014 (courbe mauve clair). Pour ces deux optimums, les deux façades (avant et arrière) du bâtiment principal sont isolées. De plus, d'une manière générale, on constate que malgré un investissement de départ plus important dans le cas de l'isolation des deux façades du bâtiment principal, l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans compense cet investissement à l'exception des caractéristiques thermiques de type '3' d'une annexe dont les fenêtres sont remplacées et le toit plat isolé (point entouré sur le graphique ci-dessus – figure 40).

L'isolation complète du bâtiment principal comprenant celle de la façade arrière (courbe bleu clair) comporte un optimum pour les mesures/groupes/variantes avec les caractéristiques thermiques du passif. Par contre, l'isolation des murs mitoyens augmente le coût global de 33.171 € par rapport à l'optimum (dont le coût global s'élève à 243.146 €). Malgré que le coût global pour isolation passive soit inférieur à celui pour une isolation de type '3', l'isolation passive des autres mesures/groupes/variantes ne présente pas d'optimum pour ce type de performances mais pour les caractéristiques thermiques de 2014 (courbe rouge) et de 2012 (courbe rose).

Le graphique de la figure 41 présente un zoom sur la zone encadrée en rouge sur le graphique précédent.

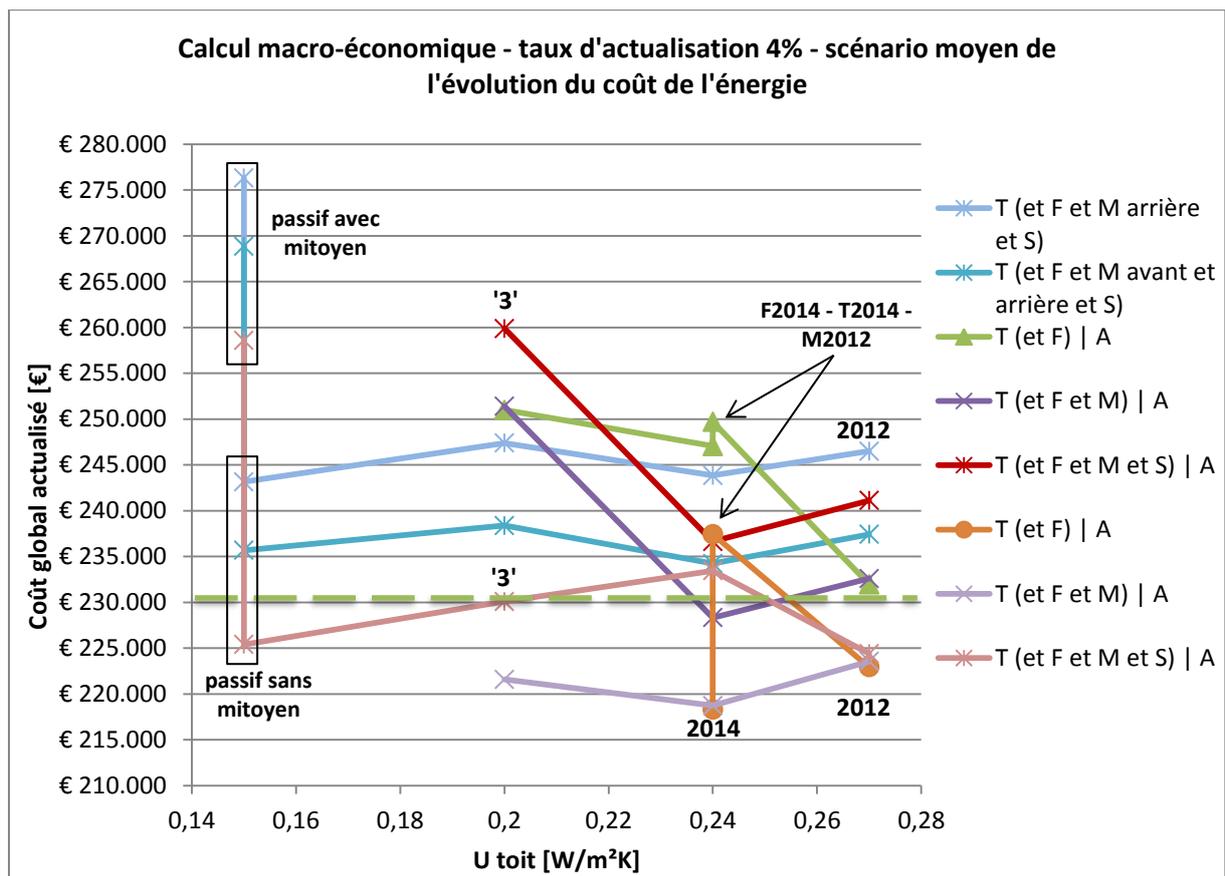


Figure 41 : AE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit (annexe comprise) (T|T et F|T et F et M|T et F et M et S) - ZOOM

AE2 – Immeuble d'appartements de type « Etrimmo »

Cet immeuble d'appartement est analysé de façon similaire au bâtiment précédent.

Le coût global actualisé en fonction du niveau K de l'habitation est illustré par le graphique de la figure 42. Ce dernier situe l'immeuble d'appartement de référence (avant travaux de rénovation), appelé « base », par rapport aux immeubles d'appartements présentant des mesures/groupes/variantes différents (après travaux de rénovation).

Le niveau K du cas de « base » est le plus élevé, sa valeur est de 142. Par ailleurs, il présente un des coûts globaux actualisés les plus importants. Le coût global actualisé le plus faible correspond à un immeuble d'appartements dont les vitrages sont remplacés et le toit isolé selon les caractéristiques thermiques de 2014.

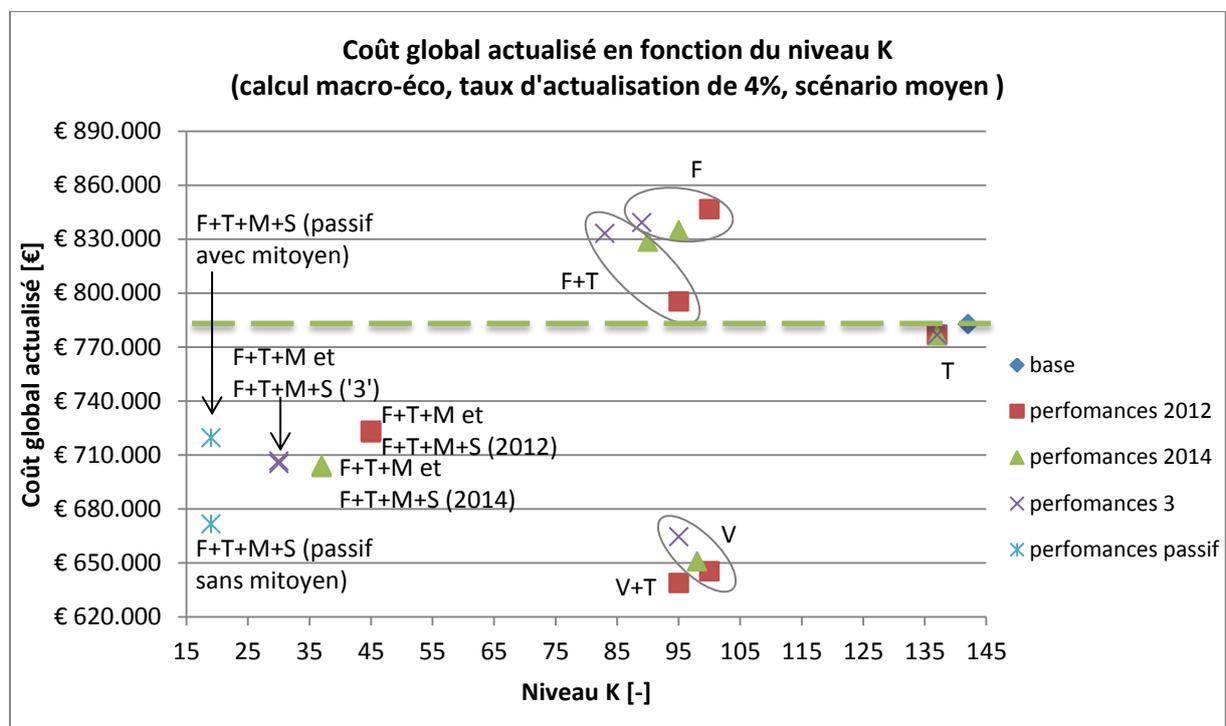


Figure 42 : AE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du niveau K

L'évolution du coût global lorsque de nouveaux vitrages aux caractéristiques thermiques de 2012 ($U_g=1.3W/m^2K$), de 2014 ($U_g=1.1W/m^2K$) ou '3' ($U_g=0.8W/m^2K$) sont placés est illustré dans le graphique ci-dessous (figure 43). La seule remarque est que plus le vitrage placé est performant, plus le coût global augmente. En effet, il augmente d'environ 19.000 € par rapport au coût global actualisé des performances de 2012 de 645.500 €. Placer ce type de vitrage est donc la mesure/groupes/variantes la plus rentable.

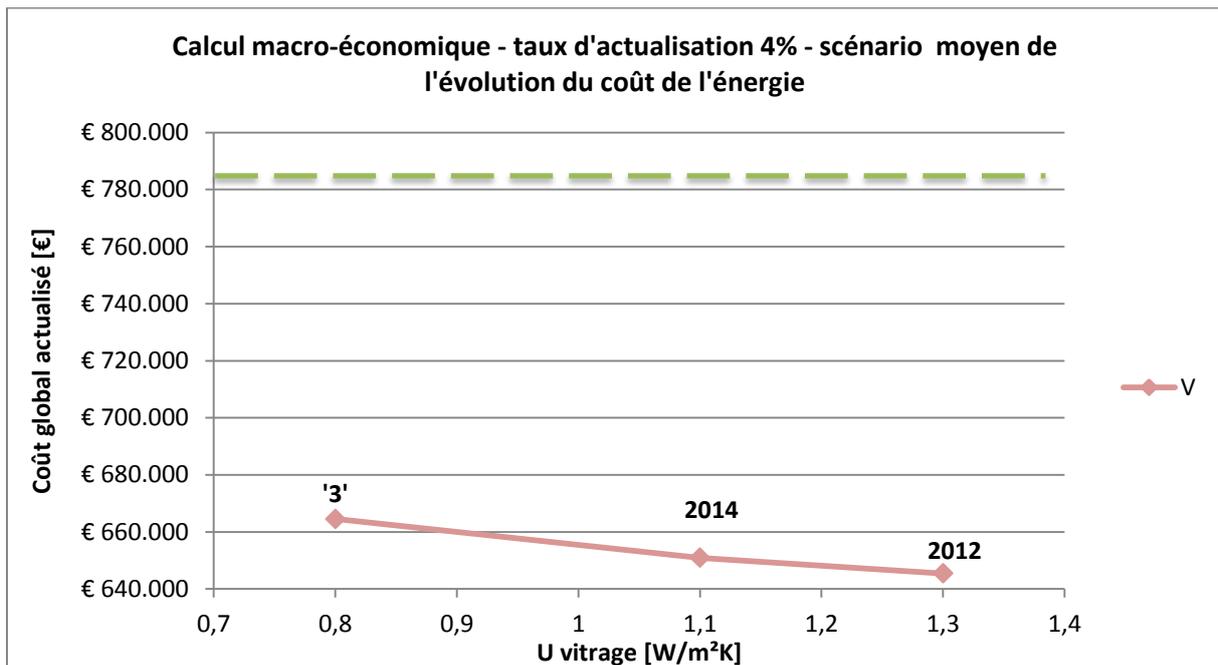


Figure 43 : AE2 – Calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : du coût global actualisé en fonction du U du vitrage (V)

Par contre, un optimum est observé lors du remplacement des fenêtres : il correspond aux caractéristiques thermiques de 2014. Le coût global actualisé de la fenêtre de type « 2012 » et de la fenêtre de type '3' est plus élevé par rapport à l'optimum ; toutefois, cette différence ne représente que 1%.

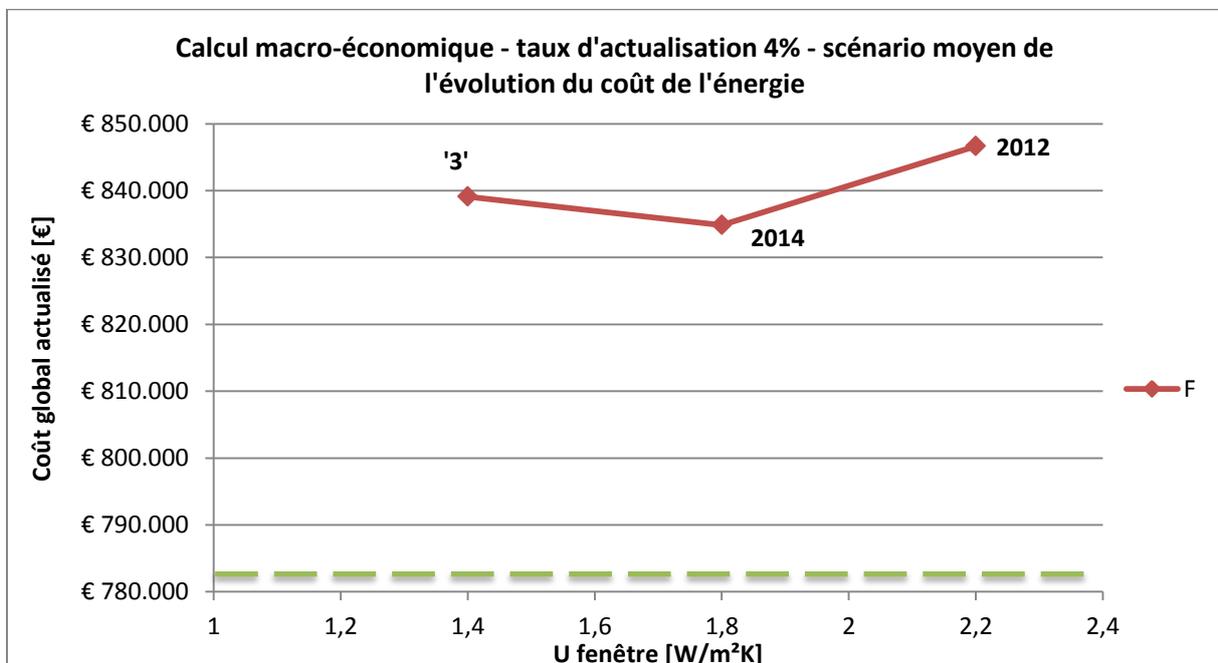


Figure 44 : AE2 - Calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre (F)

La figure 45 représente l'évolution du coût global lorsqu'une nouvelle isolation de toiture est mise en œuvre. L'optimum observé correspond à l'isolation de la toiture selon les caractéristiques thermiques de 2014. Toutefois, il ne présente un coût global actualisé que faiblement inférieur à

ceux relatifs aux caractéristiques thermiques de 2012 et de type '3' (respectivement 580 € et 410 € par rapport à un coût global d'environ 835.000 €). L'ensemble des coûts est donc sensiblement constant.

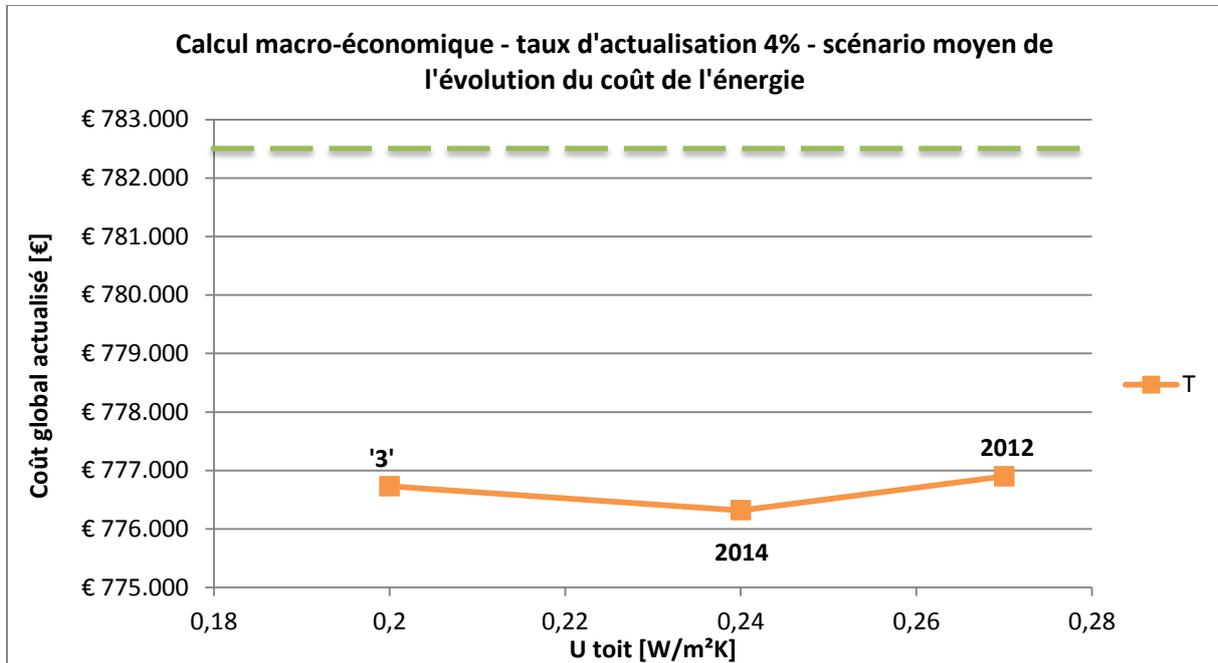


Figure 45 : AE2 - Calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit (T)

La figure 46 compare :

- l'évolution du coût global lors de l'installation de nouvelles fenêtres uniquement avec ;
- l'évolution du coût global lors du placement de nouvelles fenêtres et d'une nouvelle isolation de la toiture.

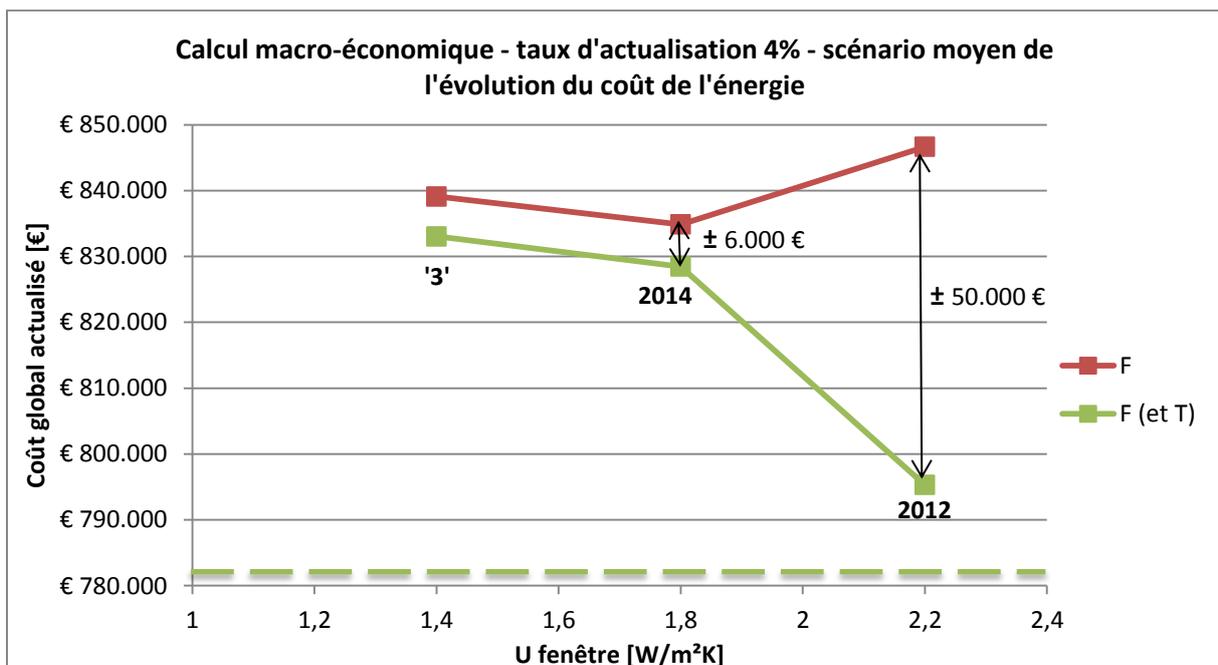


Figure 46 : AE2 - Calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre (F|F et T)

Le graphique de la figure 46 ne présente pas d'optimum général. Seul un optimum correspondant au placement de châssis 2014 uniquement est observé mais son coût global actualisé n'a pas la plus petite valeur du graphique. Toutefois, l'écart entre le coût global pour les fenêtres seules et celui pour la combinaison fenêtres et toiture est très faible (environ 6.000 €) par rapport au niveau de coût (environ 835.000 €), à l'exception des mesures/groupes/variantes des caractéristiques thermiques de 2012 qui présentent le coût global actualisé le plus faible de ce graphique. En effet, une différence de plus de 50.000 € est relevée entre l'installation de nouvelles fenêtres uniquement et le placement de nouvelles fenêtres combiné à une nouvelle isolation de la toiture.

Ainsi, malgré que l'investissement de départ soit plus important dans le cas de la combinaison fenêtres et toit, l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans compense cet investissement (surtout pour les caractéristiques thermiques de 2012) et ce, en comparaison au cas du remplacement des fenêtres uniquement. Toutefois, il faut remarquer que les mesures/groupes/variantes illustrées sur ce graphique ne sont pas rentables par rapport à l'immeuble d'appartements de base, ceci est sans doute dû une fois de plus au coût élevé des châssis.

La figure 47 illustre toutes les combinaisons réalisées en fonction du U de la fenêtre. L'immeuble d'appartements dont les fenêtres sont remplacées et toutes les parois isolées à l'exception des murs mitoyens d'après les caractéristiques du passif présente le coût global le plus faible. L'isolation complète du bâtiment avec les caractéristiques thermiques du passif y compris les murs mitoyens augmente le coût global de 47.900 € par rapport au coût sans les murs mitoyens dont le coût global s'élève à 671.500 € (courbe bleue).

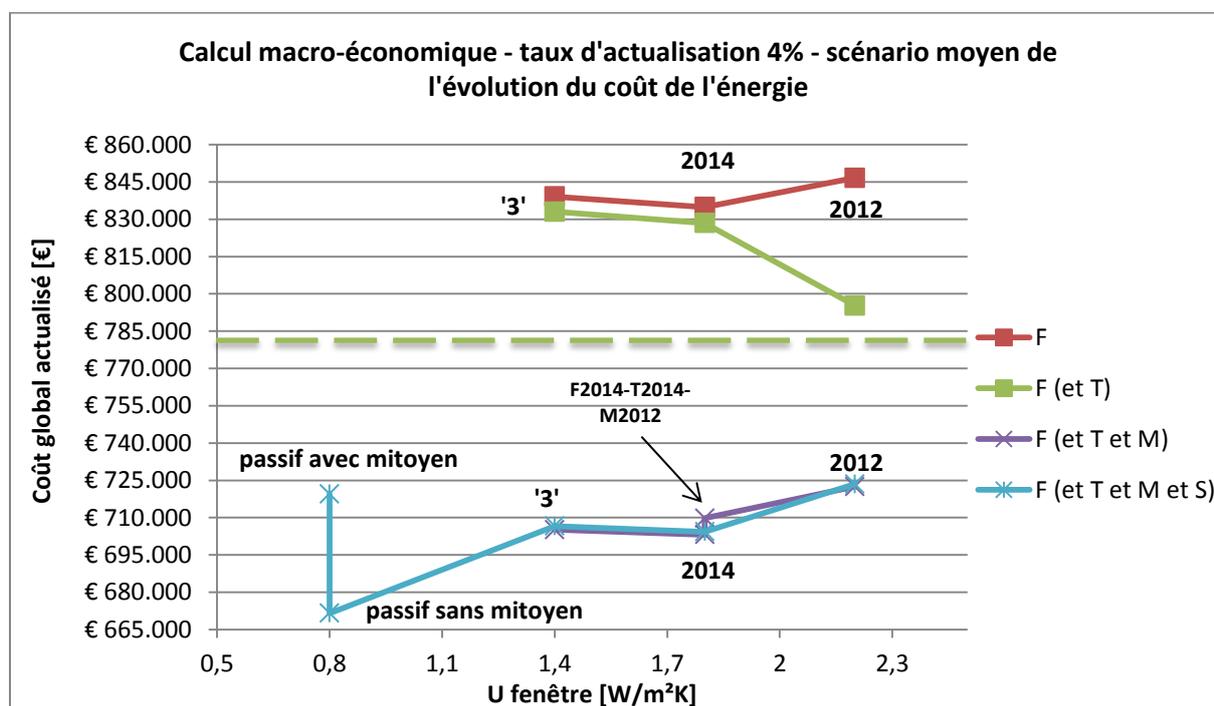


Figure 47 : AE2 - Calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre (F|F et T|F et T et M|F et T et M et S)

Un autre optimum est observé sur le graphique ci-dessus ; il correspond à la combinaison du remplacement des fenêtres avec l'isolation de la toiture et des murs extérieurs selon les caractéristiques thermiques de 2014 : fenêtres 2014, toiture 2014, façades avant ET arrière 2014 (courbe mauve). Son coût global est supérieur au coût global le plus faible du graphique (environ 31.600 €). Un second optimum général proche du précédent est également observé : il s'agit de

l'isolation de tout l'immeuble d'appartements selon les caractéristiques thermiques de 2014 (courbe bleue). Une différence de 1.100 € sur le coût global entre ces deux optimums est constatée.

Les courbes rouge et verte sont nettement au-dessus des deux autres courbes. Ainsi, malgré que l'investissement de départ soit plus important dans le cas des deux courbes bleue et mauve, l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans compense cet investissement et ce, en comparaison aux cas du remplacement des fenêtres uniquement et de la combinaison des fenêtres et de l'isolation de la toiture.

Le graphique de la figure 48 présente les résultats pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario **faible** d'évolution du coût de l'énergie, selon le U_w de la fenêtre. Les optimums pour les mesures/groupes/variantes correspond aux caractéristiques thermiques les suivantes :

- pour les fenêtres seules : optimum en 2014 ;
- pour les fenêtres et la toiture : le coût global actualisé le plus faible est observé en 2012 ;
- pour les fenêtres, la toiture et les murs : optimum en 2014 ;
- pour les fenêtres, la toiture, les murs et le sol : le coût global actualisé le plus faible est observé pour le cas passif (sans les murs mitoyens).

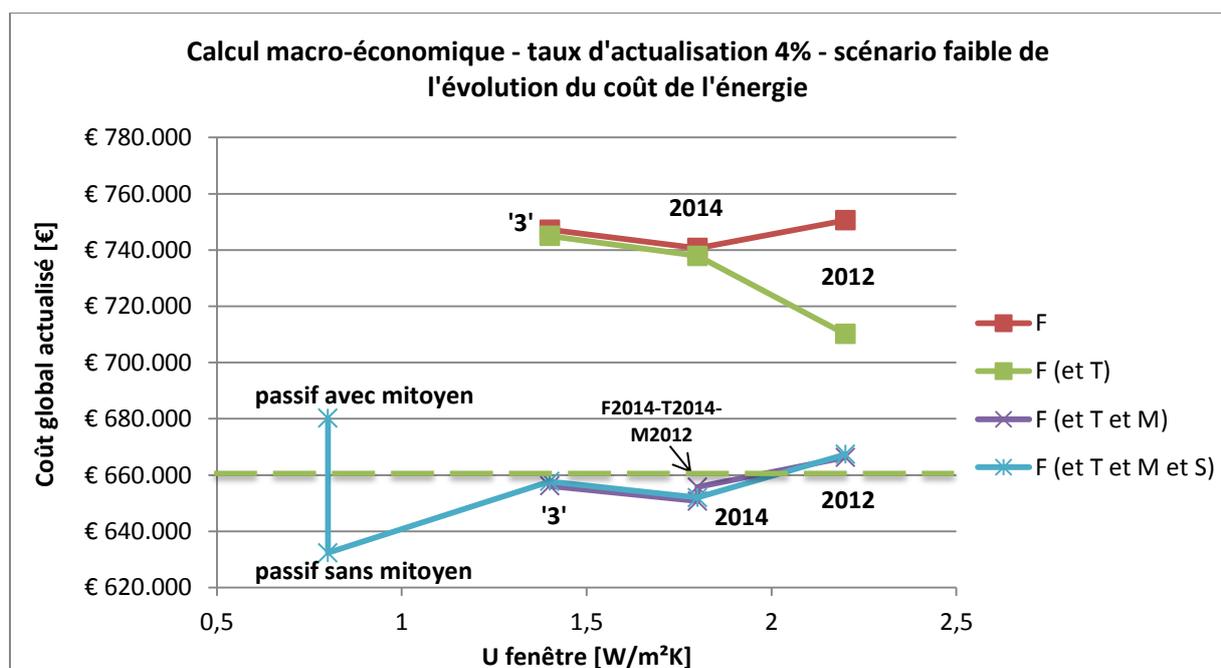


Figure 48 : AE2 - Calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre (F|F et T|F et T et M|F et T et M et S)

La figure 49 représente les variantes étudiées selon le U de la toiture (axe des abscisses). On peut observer deux zones marquées par une différence de coût global élevée de l'ordre de 100.000€ :

- l'une avec la courbe verte (combinaison isolation de la toiture et remplacement des fenêtres) et la courbe orange (isolation de la toiture) ;
- l'autre regroupant les cas suivants :
 - isolation de la toiture, remplacement des fenêtres et isolation des murs extérieurs ;
 - isolation de la toiture, remplacement des fenêtres et isolation des murs extérieurs et du sol (isolation complète du bâtiment).

Isoler la toiture et remplacer les fenêtres OU isoler la toiture uniquement n'est donc pas intéressant par rapport aux autres cas. Toutefois, entre ces deux cas, il faut remarquer qu'il est préférable

d'isoler uniquement la toiture et que le coût global de cette mesure est constant quelles que soient les caractéristiques thermiques choisies.

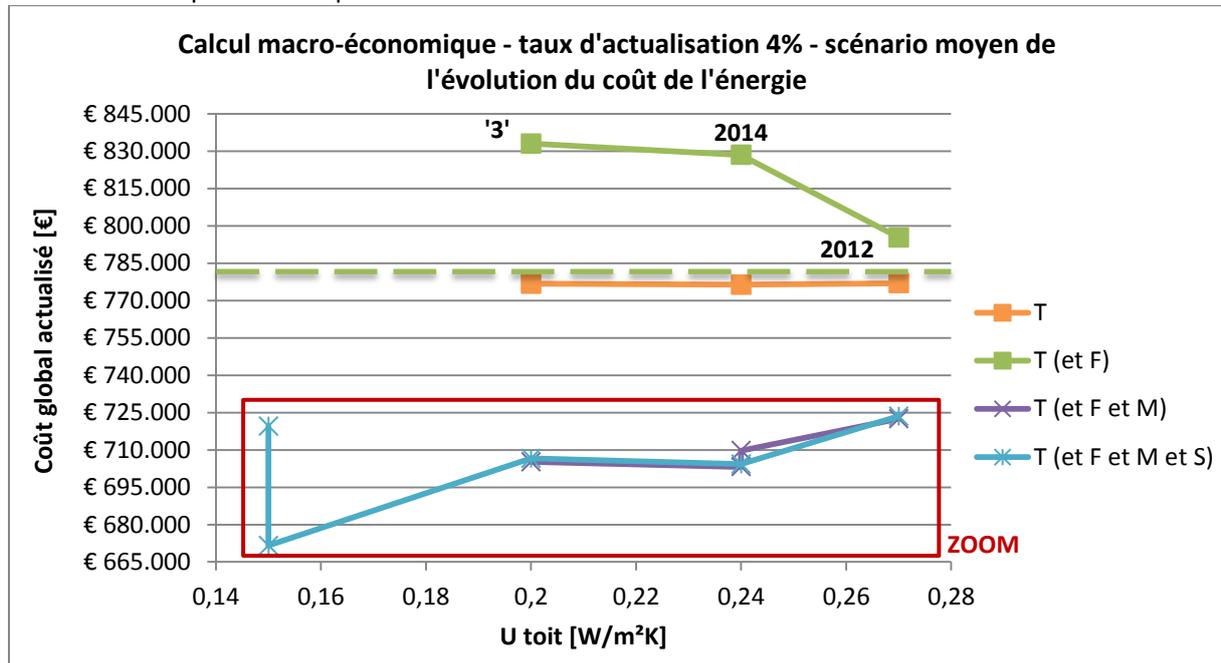


Figure 49 : AE2 - Calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit (T|T et F|T et F et M|T et F et M et S)

Le graphique ci-dessous représente un zoom de la seconde zone du graphique précédent. L'isolation complète et de performance passive (sans les murs mitoyens) de l'immeuble présentent le coût global le plus faible. Par contre, si les murs mitoyens sont également isolés, le coût global augmente nettement et s'approche du coût relatif aux performances de 2012.

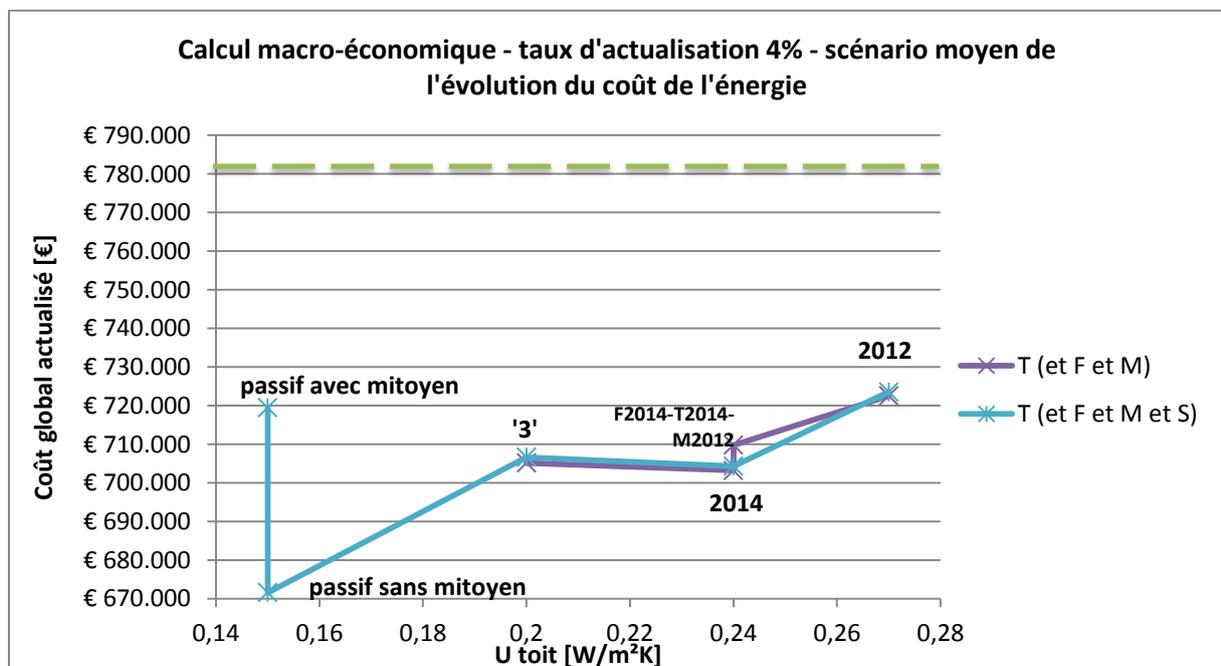


Figure 50 : AE2 - Calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie (zoom) : coût global actualisé en fonction du U du toit (T et F et M|T et F et M et S)

Le graphique de la figure 51 ci-dessous reprend les mêmes groupes-mesures-variantes que le

graphique précédent mais avec des scénarii d'évolution du coût de l'énergie qui diffèrent. Toutes les observations du précédent graphique ne sont plus valables ici : pour un scénario élevé d'évolution du coût de l'énergie (3,5%), l'optimum est toujours l'isolation complète de type « passif » de l'immeuble d'appartements (mitoyen non compris). Par contre, l'isolation complète de type « passif » (murs mitoyen compris) voit son coût global diminuer fortement et s'approcher des optimums observés contrairement au graphique dont le coût de l'énergie évolue selon un scénario moyen.

Cette observation est la conséquence du coût élevé de l'énergie qui favorise donc une isolation performante du bâtiment.

De plus, nous pouvons remarquer que les courbes verte et orange de la première zone se sont rapprochées. L'isolation du toit seul est toujours plus intéressante sauf pour les caractéristiques thermiques de 2012.

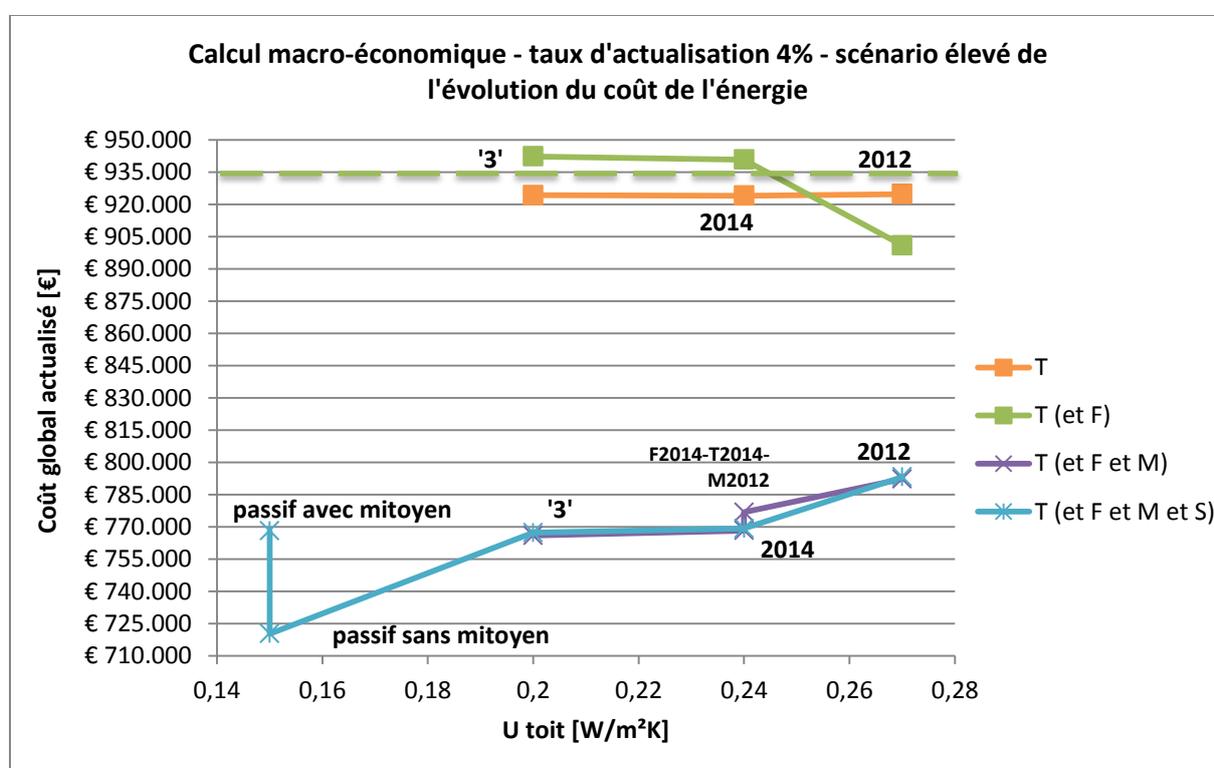


Figure 51 : AE2 - Calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit (T|T et F|T et F et M|T et F et M et S)

Les résultats respectivement pour le U des murs et le U du sol sont illustrés sur la figure 52 et sur la figure 53.

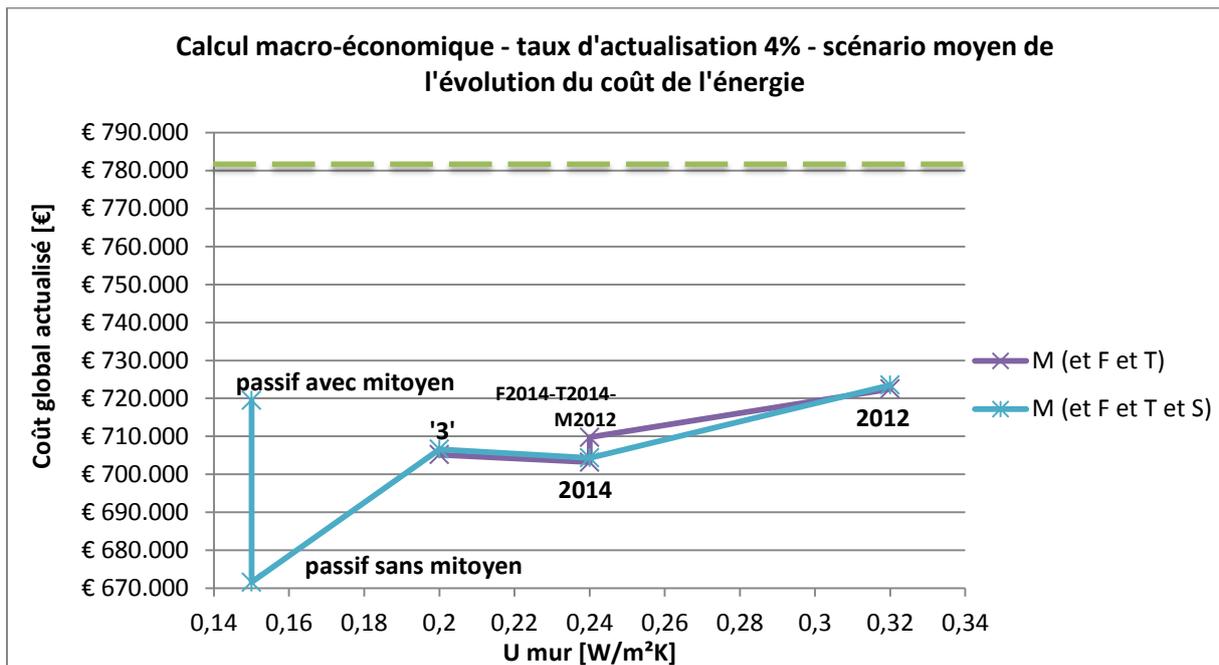


Figure 52 : AE2 - Calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit (M et F et T | M et F et T et S)

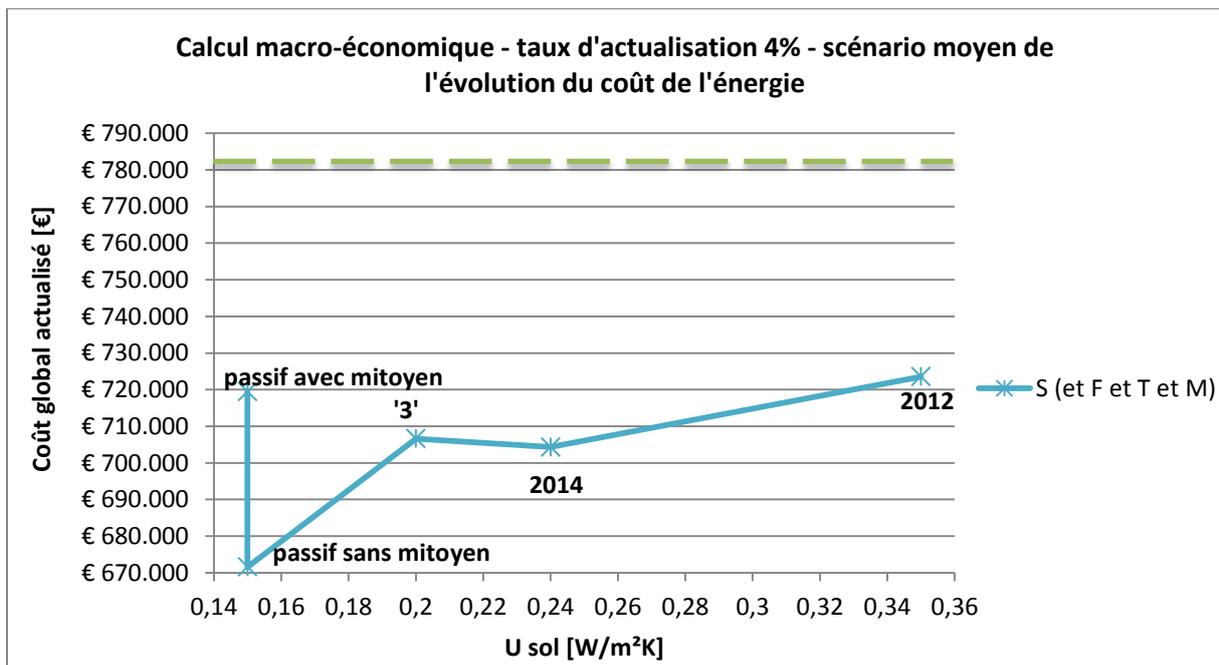


Figure 53 : AE2 - Calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du sol (S et F et T et M)

La figure 54 illustre l'isolation complète du bâtiment avec des caractéristiques thermiques différentes selon un coût de l'énergie faible, moyen et élevé. Plus le coût de l'énergie est élevé, plus le coût global est élevé. Similairement à la maison unifamiliale ME1, on peut remarquer que cette tendance diminue plus l'isolation de l'habitation est poussée.

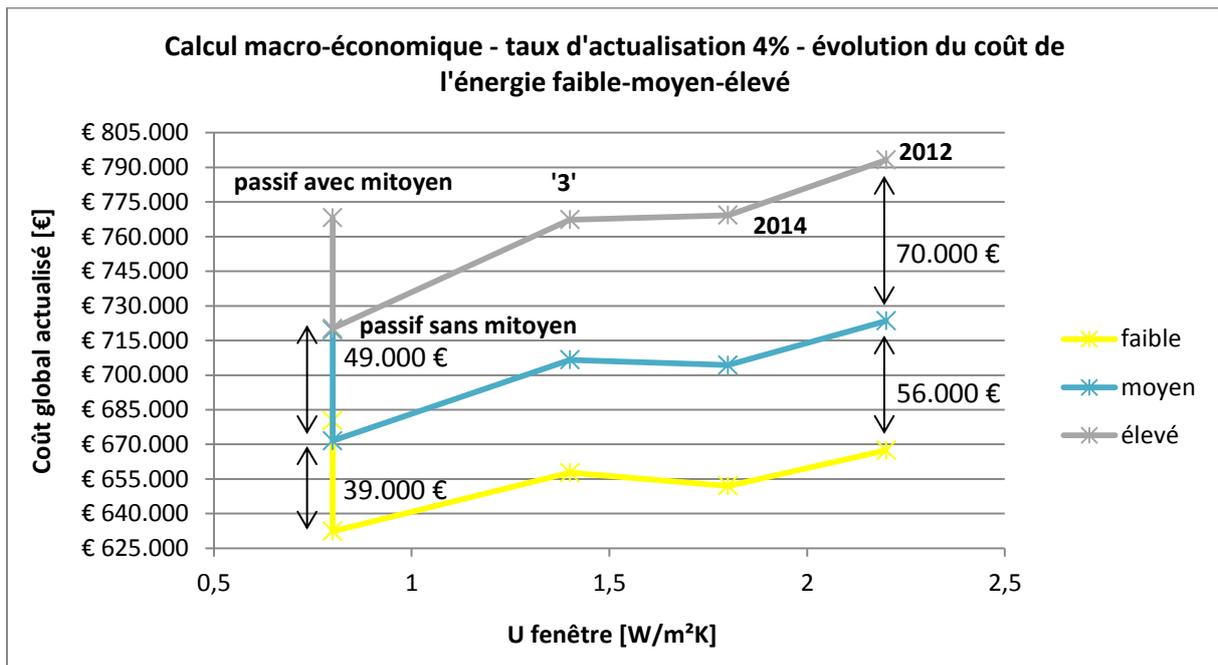


Figure 54 : AE2 - calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - évaluation du coût de l'énergie faible-moyen-élevé : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre (F et T et M et S)

La figure 55 compare le calcul financier avec le calcul macro-économique pour un taux d'actualisation de 4% et un scénario moyen du coût de l'énergie et permet donc, d'observer l'influence des subventions. Pour l'ensemble des mesures-groupes-variantes, le coût global obtenu par le calcul financier est plus élevé que le coût global obtenu par le calcul macro-économique. Pour une isolation des fenêtres uniquement, ou des fenêtres et de la toiture, ou des fenêtres, de la toiture et des murs, le coût du calcul financier est toujours plus grand que le coût du calcul macro-économique.

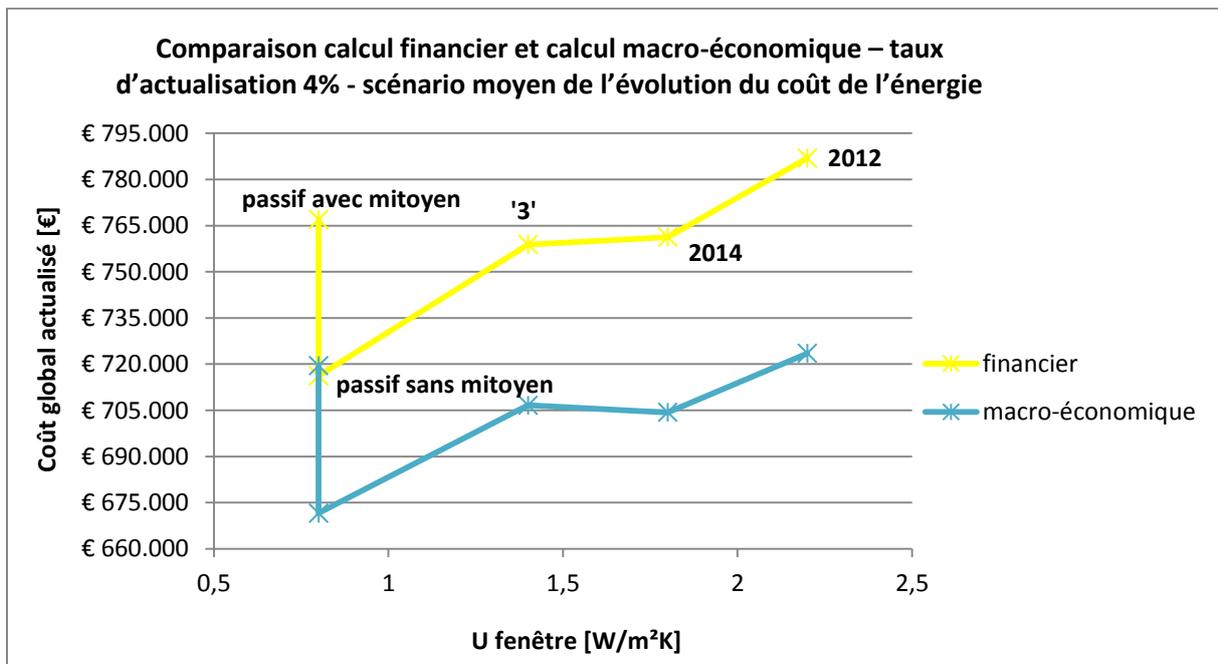


Figure 55 : AE2 - comparaison calcul financier et calcul macro-économique – taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre (F et T et M et S)

4. Bâtiments résidentiels unifamiliaux neufs

En région wallonne, les exigences actuelles pour les nouvelles habitations sont les suivantes : Espec inférieur à 130 kWh/m².an, Ew inférieur à 80 et K inférieur à 45.

Le coût global comprend le coût de l'enveloppe du bâtiment, le coût des systèmes installés (production, stockage, distribution et émission) ainsi que le coût de la consommation énergétique de l'habitation pendant 30 ans. Le coût complet de chaque paroi de déperdition reprend sa structure, l'isolation, la finition extérieure et la finition intérieure.

Les cloisons et menuiseries intérieures, les sanitaires et la plomberie, l'électricité, ... ne sont pas compris dans ce coût global.

Pour les bâtiments neufs, il s'agit de justifier la pertinence des exigences sur le Espec et sur le Ew. Si l'optimum diffère de 15% par rapport aux impositions actuelles, il faudra justifier cet écart par l'évolution programmée des exigences pour tendre vers une exigence « coût optimum » ou par une politique de modification éventuelle des systèmes de primes.

MN1 – maison 4 façades – construction traditionnelle

Dans un premier temps, on peut analyser un nuage de points qui correspond à toutes les mesures-groupes-variantes choisies préalablement et simulées. Nous avons décidé de les répartir selon les 4 types d'isolation : caractéristiques thermiques de 2012, celles de 2014, des caractéristiques thermiques intermédiaires appelées '3', entre 2014 et le passif et les caractéristiques du standard passif.

D'une manière générale on observe sur le graphique de la figure 56, qu'importent les systèmes utilisés, l'isolation passive de l'habitation conduit à un coût global plus élevé mais également à des meilleures valeurs de Espec. Cela signifie que l'investissement de départ, qui est plus important, n'est pas ou peu compensé par l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans.

L'isolation de type '3' permet, dans certains cas, de diminuer le coût global mais pas de manière assez significative. C'est avec l'isolation caractéristique de 2014 qu'on obtient des coûts, généralement plus bas associés à des Espec « corrects ». En effet, l'isolation 2012 ne permet pas d'atteindre facilement la valeur maximale de 130 kWh/m².an.

L'optimum économique observé correspond à une habitation isolée selon les caractéristiques de 2014 ; une étanchéité à l'air de 4m³/h.m², un système de ventilation de type C + ainsi qu'une chaudière gaz à condensation pour la production d'ECS et pour le chauffage sont installés dans cette habitation. Le Espec est de 115,43 kWh/m².an, le Ew vaut 65 et le niveau K est de 38 pour un coût global de 146 298€.

Sur ce graphique (figure 56), on peut également observer, proche de cet optimum, un autre point ayant un Espec juste au-dessus des valeurs réglementaires actuelles (136,39 kWh/m².an), un Ew de 77 et un niveau K identique de 38 pour un coût global de 148 795€. Ce point correspond à une habitation identique, seul le système de ventilation est différent et est un système C.

L'habitation de base est représentée par la ligne bleue pointillée, sur chaque graphique.

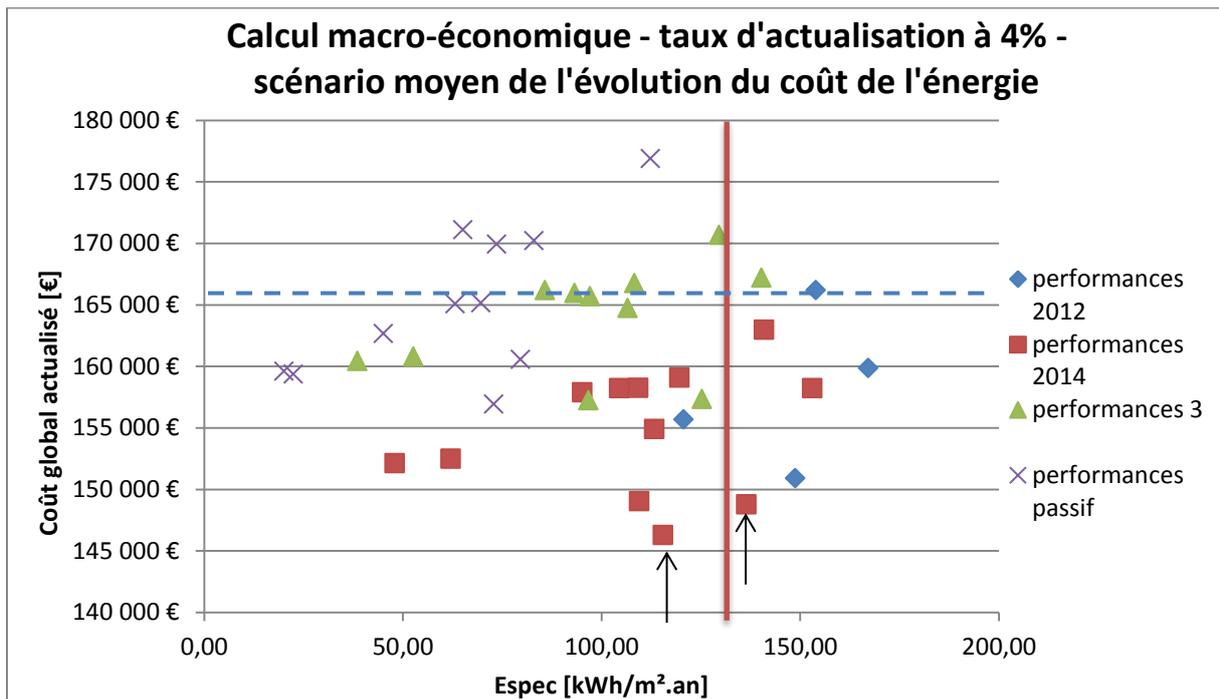


Figure 56 : maison neuve 4 façades MN1

Le graphique de la figure 57 montre les résultats du coût global actualisé en fonction du niveau Ew (et non plus en fonction du Espec).

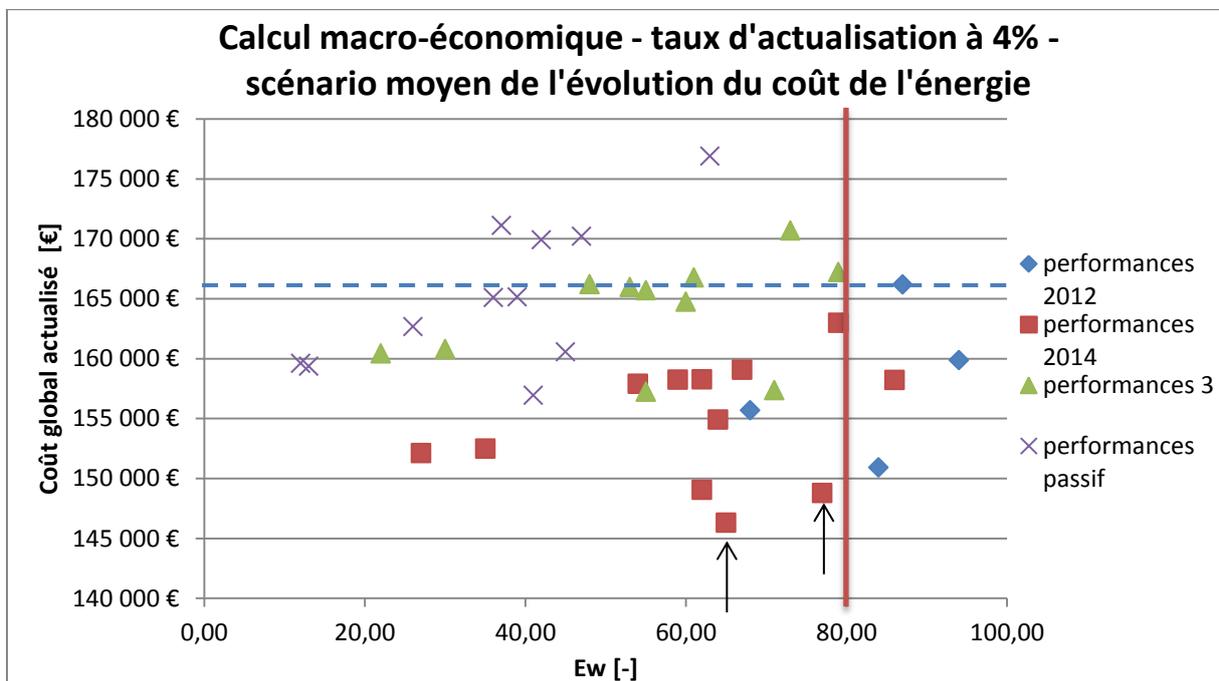


Figure 57 : maison neuve 4 façades MN1

Nous avons comparé ces premiers résultats obtenus pour un scénario **moyen** de l'évolution du coût de l'énergie (figure 56) avec les résultats pour un scénario **faible** de l'évolution du coût de l'énergie (figure 58) et avec les résultats pour un scénario **élevé** de l'évolution du coût de l'énergie (figure 59).

L'optimum obtenu pour un scénario **faible** de l'évolution du coût de l'énergie et pour un scénario moyen sont identiques (figure 58).

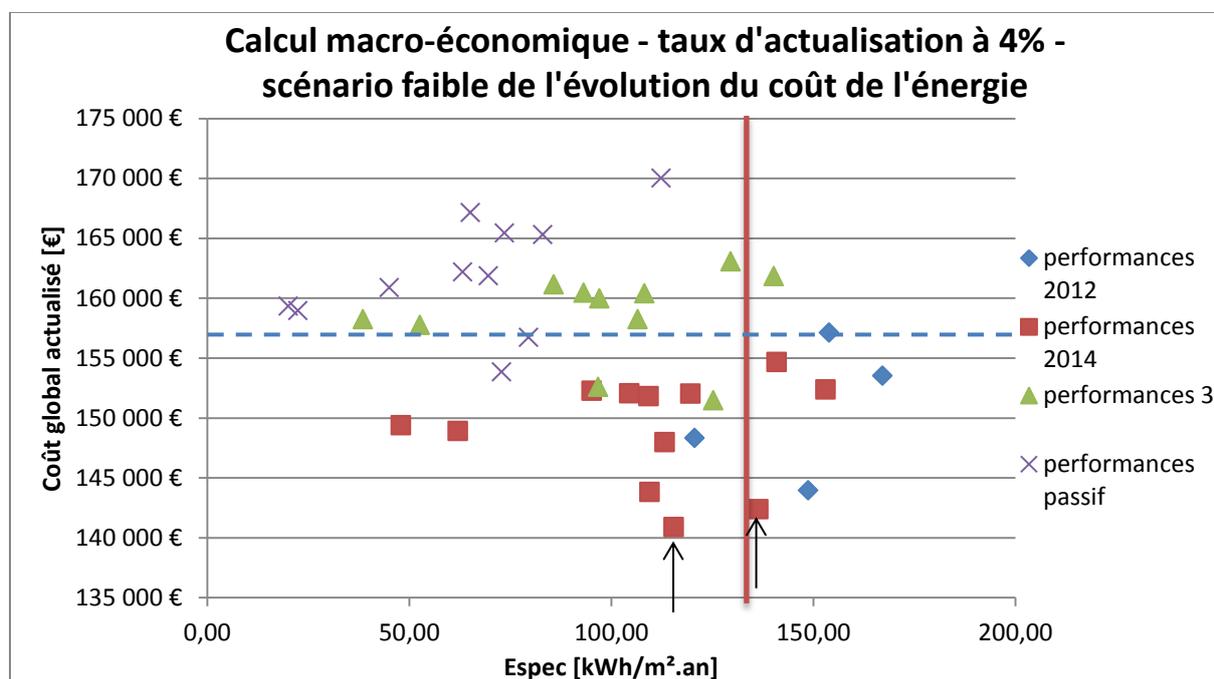


Figure 58 : maison neuve 4 façades MN1

L'optimum obtenu pour un scénario **élevé** d'évolution du coût de l'énergie (figure 59) correspond à une habitation équipée d'une chaudière non à condensation biomasse. Cette habitation est isolée selon les caractéristiques de 2014, présente une étanchéité à l'air de $4\text{m}^3/\text{h.m}^2$, un système de ventilation de type C. Elle a un Especc de $152,99\text{ kWh/m}^2.\text{an}$, un Ew de 86 et un niveau K de 38 pour un coût global de 148 681€.

Ce résultat est dû à la quantité des émissions de gaz à effet de serre qui, pour la biomasse, est très faible par rapport aux autres sources d'énergies fossiles.

Néanmoins, lorsqu'une chaudière biomasse est mise en place les valeurs obtenues pour le Especc sont très élevées et la valeur réglementaire est largement dépassée. Il faut être attentif à ne pas favoriser le recours à des systèmes conventionnels moins performants, et qui aurait pour conséquence de prôner un retour vers des valeurs Especc réglementaires plus élevées.

Il est aussi intéressant, si le coût de l'énergie augmente fortement, de mettre en place des systèmes d'énergies renouvelables. Les habitations possédant un système de panneaux photovoltaïques sont entourés en mauve sur la figure 59, celles qui possèdent des panneaux photovoltaïques et des panneaux solaires en orange et celles qui possèdent uniquement des panneaux solaires en jaune.

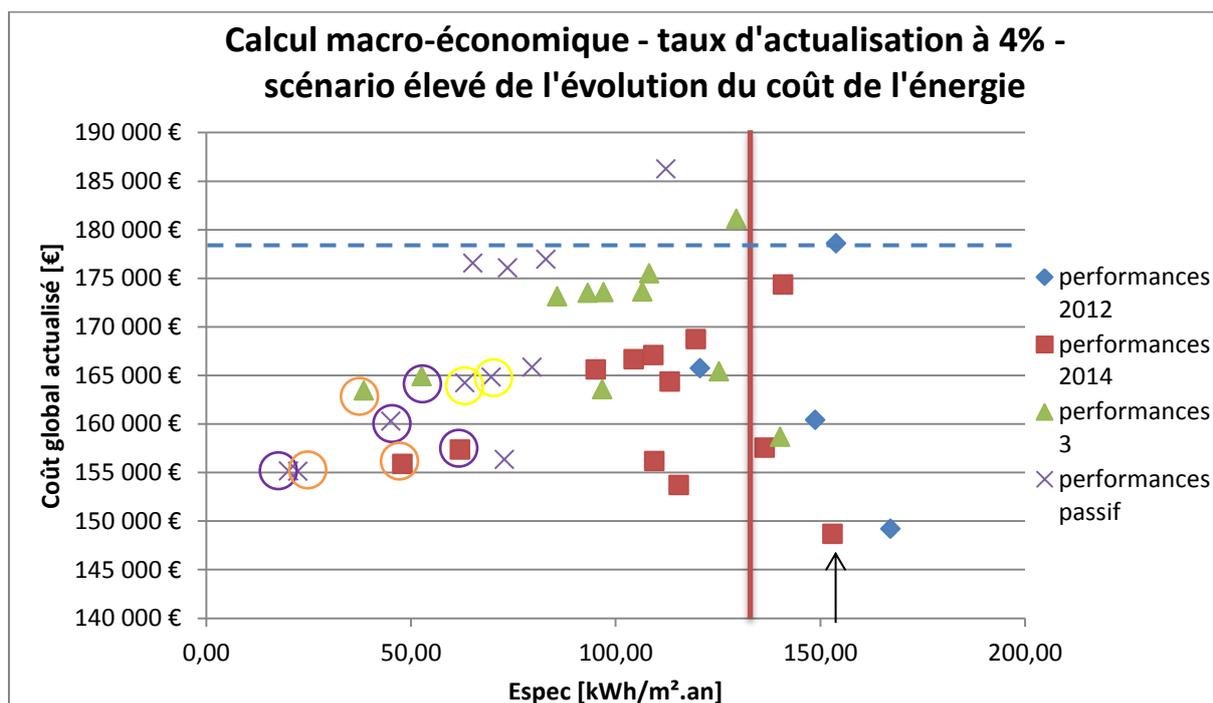


Figure 59 : maison neuve 4 façades MN1

Le tableau 1, ci-dessous, reprend les valeurs des optima repérés sur les graphiques précédents. En jaune, le « premier optimum » et en gris le « second optimum », proche du coût du premier (tolérance maximale de 1% sur le coût global) mais avec un Especc nettement meilleur. Tous ces points ont été pointés dans l'analyse ci-dessus.

Le numéro, repris dans la première colonne du tableau 1, correspond au numéro de la mesure-groupe-variante étudiée. La description de l'habitation correspondant à ce numéro se trouve dans le rapport sur les bâtiments de référence, en page 48.

N° de variante	Especc [kWh/m ² .an]	Ew	K	Macro-économique -coût faible [€]	Macro-économique -coût moyen [€]	Macro-économique -coût élevé [€]
5	136,39	77	38	142 392	148 795	157 546
5 bis	115,43	65	38	140 886	146 298	153 696
7	152,99	86	38	152 377	158 225	148 681
10	109,43	62	38	143 827	149 038	156 161

Tableau 1 : valeurs et coûts obtenus pour 3 mesures-groupes-variantes étudiées par le calcul macro-économique avec un taux d'actualisation de 4%

Le graphique de la figure 60 compare des habitations ayant les mêmes systèmes installés mais des isolations différentes. Les 4 variantes possèdent un système de ventilation de type C et une étanchéité à l'air de 4m³/h.m². L'habitation est équipée, soit d'une chaudière à condensation au mazout, soit d'une chaudière à condensation au gaz, soit d'une pompe à chaleur sol-eau, ou d'une chaudière biomasse non à condensation.

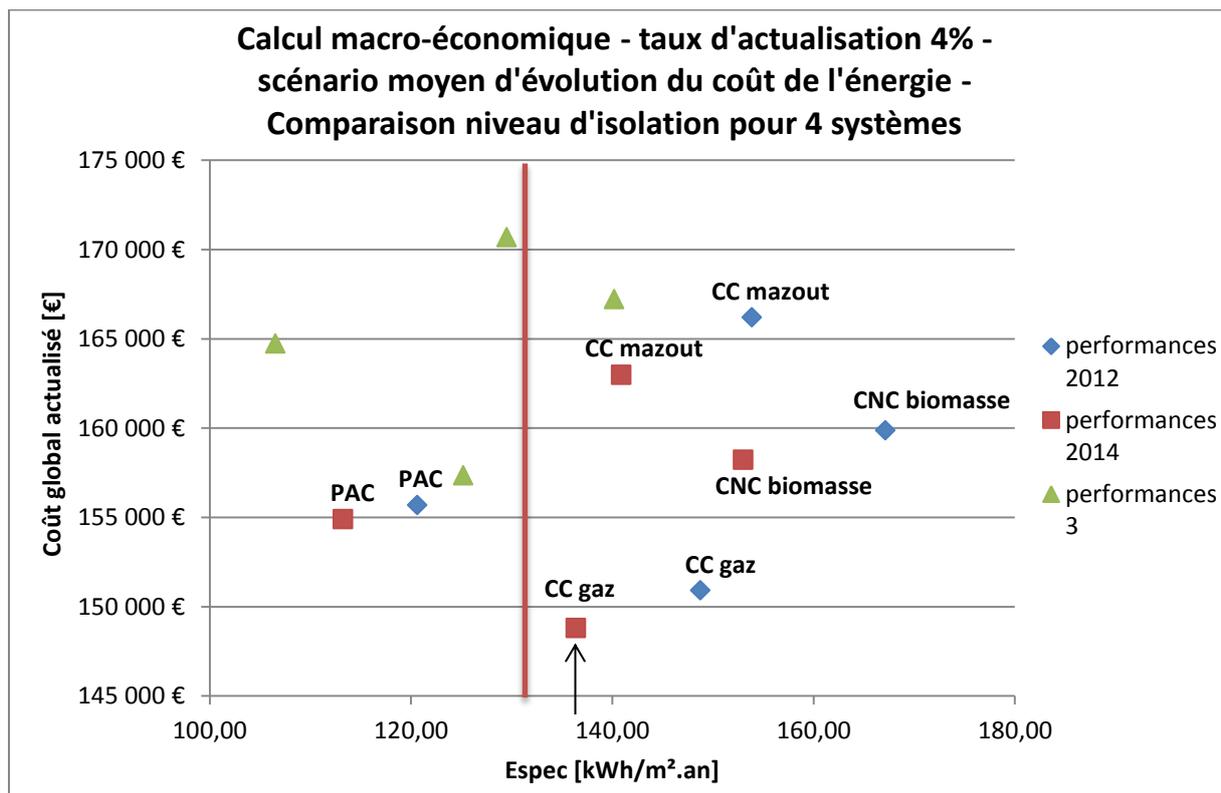


Figure 60 : maison neuve 4 façades MN1

On observe un optimum économique avec la chaudière gaz à condensation et une isolation caractéristique de 2014. Le Espec est de 136.39 kWh/m².an, le Ew vaut 77 et le niveau K est de 38.

L'analyse de ces résultats permet de souligner le fait que respecter uniquement (et strictement) les contraintes sur les U de parois ne permet pas nécessairement d'atteindre l'exigence sur le Espec. Si l'on a une étanchéité à l'air de 4m³/h.m² et un système de ventilation de type C, c'est la pompe à chaleur qu'il faut privilégier comme système de chauffage (remarque valable pour ce bâtiment en particulier).

Le graphique de la figure 61 reprend la description des points correspondant aux caractéristiques thermiques de 2014 mais présentant des systèmes différents et permet de situer plus précisément les deux points « optimum ».

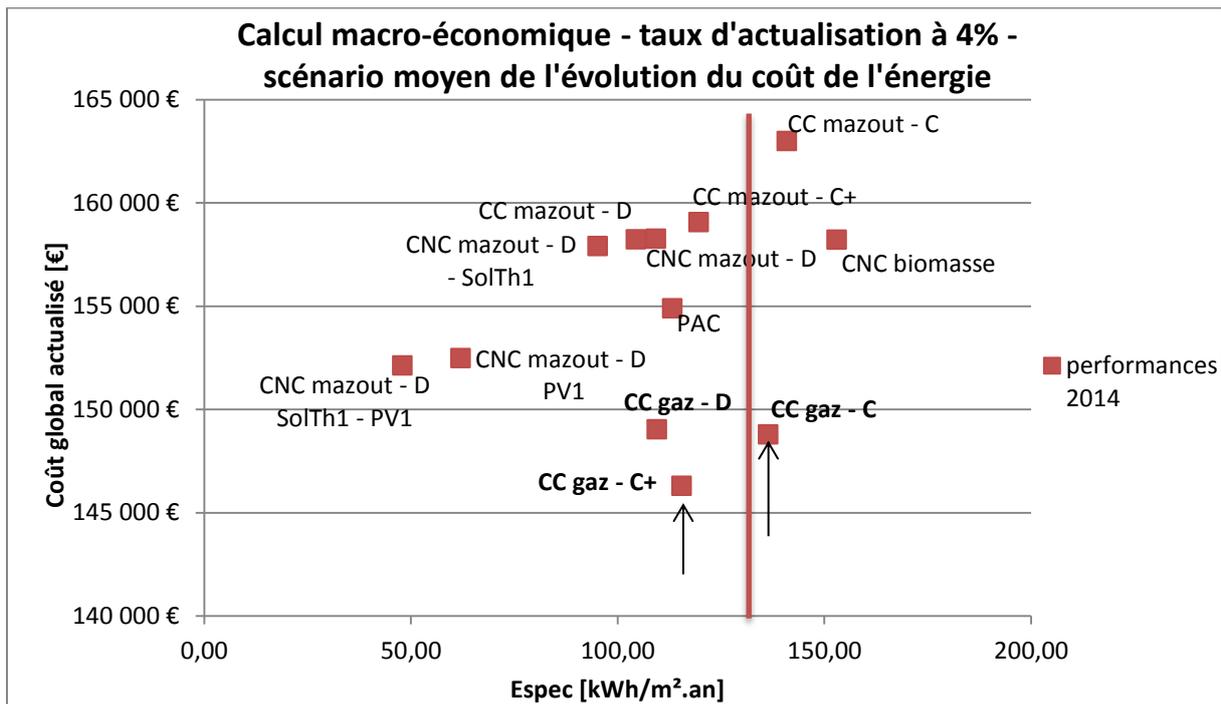


Figure 61: maison neuve 4 façades MN1

Le graphique de la figure 62 montre l'importance de la mise en place d'un système de ventilation performant dans une habitation (courbe rouge). Ce graphique permet également d'observer l'effet, sur le coût global, de la mise en place de systèmes d'énergie renouvelable tels que le photovoltaïque et le solaire thermique (courbe bleue).

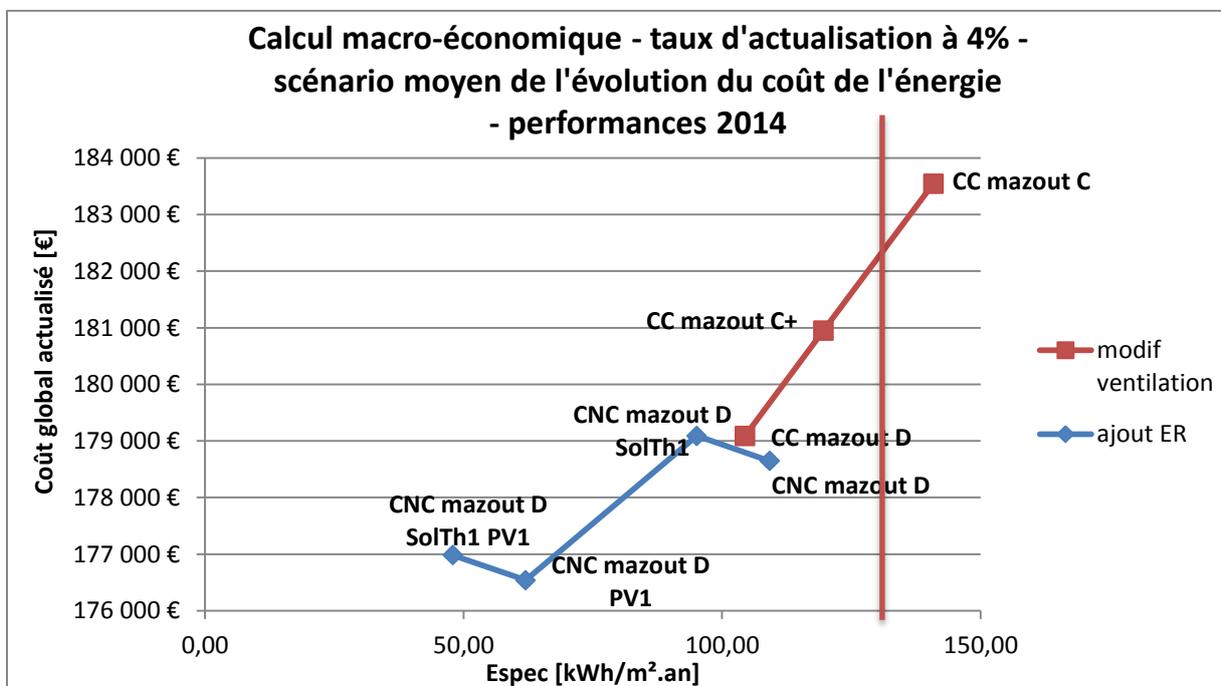


Figure 62 : maison neuve 4 façades MN1

La figure 63 permet de visualiser clairement que le coût global obtenu par le calcul macro-économique est toujours inférieur au coût du calcul financier, dans ce cas pour une habitation aux caractéristiques thermiques de 2014.

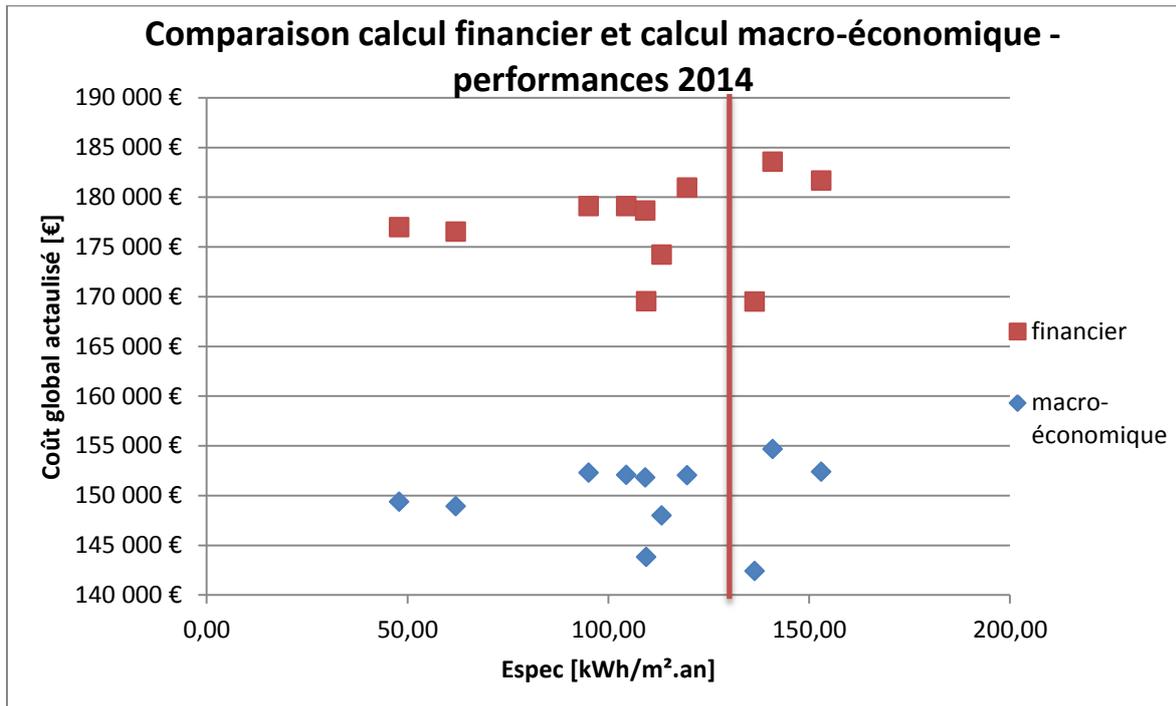


Figure 63 : maison neuve 4 façades MN1

Sur le graphique à la figure 64 on observe que lorsqu'on consomme peu d'énergie dans une habitation (c'est-à-dire Espec plus petit), l'augmentation du coût de l'énergie a peu d'impact sur le coût global. Cela signifie qu'il est plus intéressant d'isoler fortement son habitation dans le cas où le prix de l'énergie augmenterait fortement. L'investissement de base est, dans ce cas, compensé par l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans.

L'écart relatif entre les coûts pour un Espec élevé est beaucoup plus important que lorsque le Espec est petit.

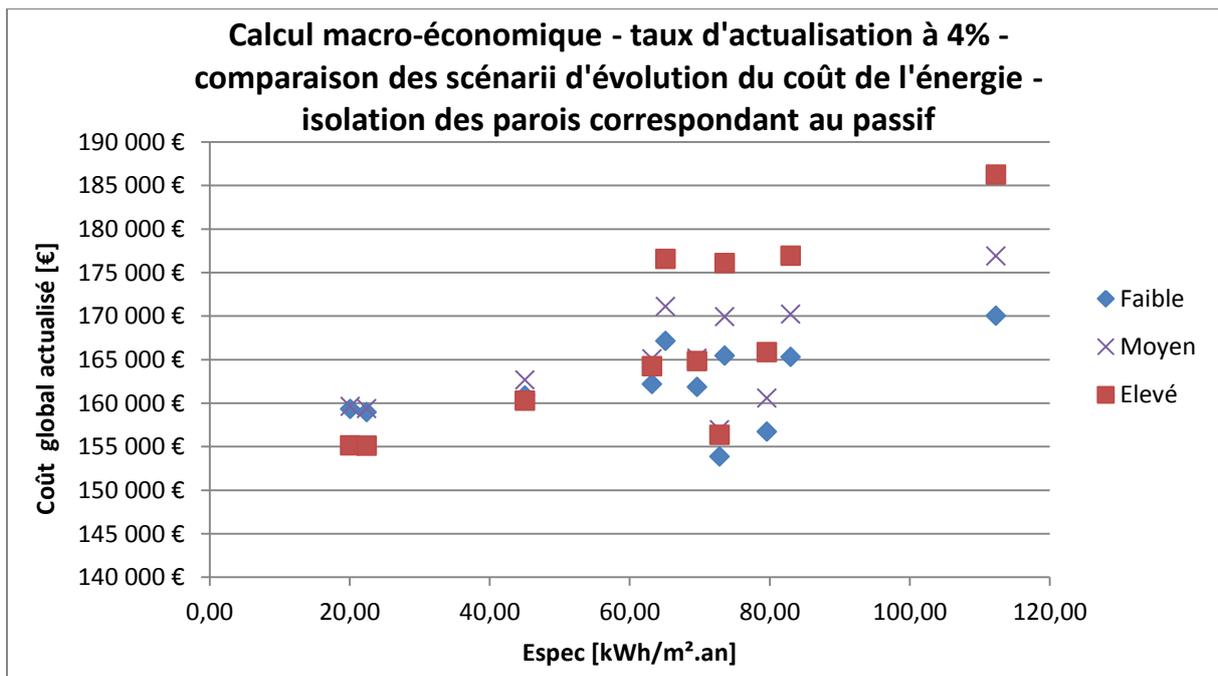


Figure 64 : maison neuve 4 façades MN1

MN2 – maison mitoyenne - ossature bois

De la même façon que pour la maison MN1, on peut analyser un nuage de points qui correspond à toutes les mesures-groupes-variantes.

D'une manière générale on observe sur le graphique 65 que pour un coût global quasiment identique (entre 85 000€ et 95 000€) on peut avoir une large gamme de Espec allant d'une valeur négative de 20kWh/m².an à plus de 150kWh/m².an.

L'isolation « 2012 » (points en bleu) ne permet pas d'atteindre, avec aucun des systèmes pris en considération, la valeur maximale de 130 kWh/m².an. Ce sont les caractéristiques thermiques de 2014 qui permettent d'obtenir des optima parmi tous les points étudiés. L'isolation type '3' n'est pas vraiment intéressante car le coût global reste très élevé sans une amélioration du Espec (de manière semblable à ce que l'on a observé pour MN1). Quant à l'isolation passive, elle se situe en bonne position et permet un compromis entre coût moyen et valeur Espec faible.

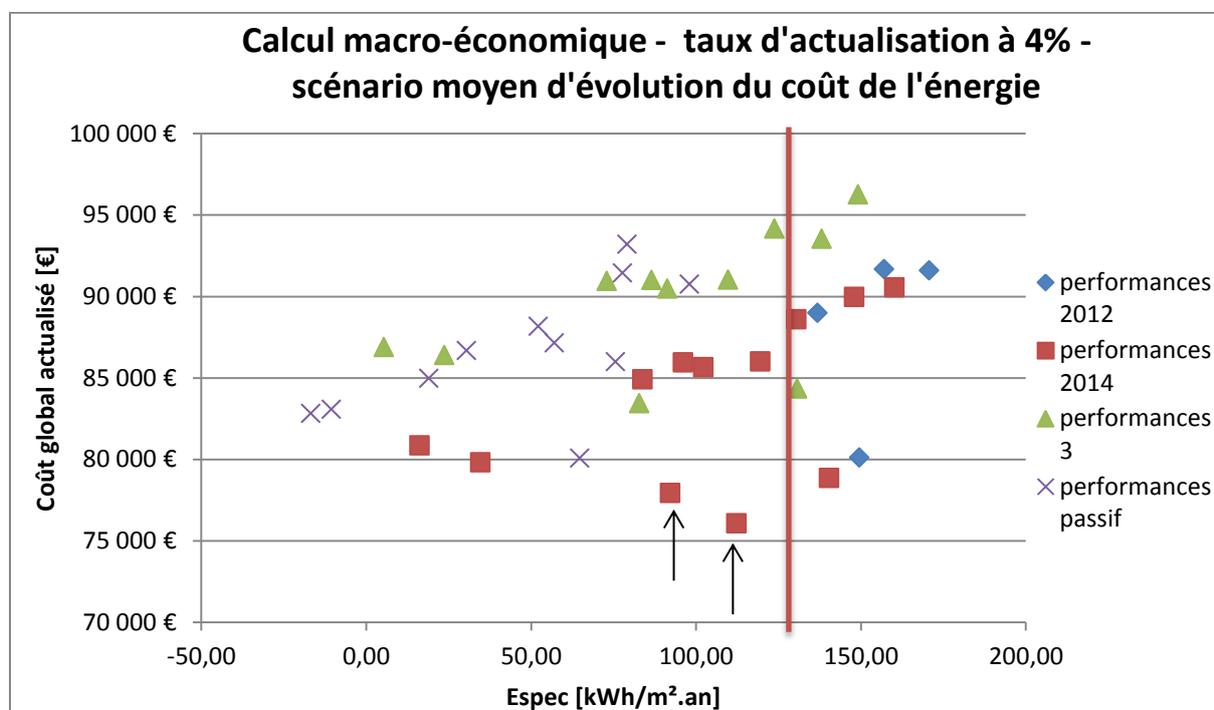


Figure 65 : maison neuve mitoyenne MN2

L'optimum économique observé sur la figure 65 correspond à une habitation isolée selon les caractéristiques de 2014 ; une étanchéité à l'air de 4m³/h.m², un système de ventilation de type C + ainsi qu'une chaudière gaz à condensation pour la production d'ECS et pour le chauffage sont installés. Le Espec est de 112,27 kWh/m².an, le Ew vaut 71 et le niveau K est de 35 pour un coût global de 76 064€.

Sur ce graphique 65, on peut également observer, proche de cet optimum, un autre point ayant un meilleur Espec 92,18 kWh/m².an, un Ew de 59 et un niveau K de 35 pour un coût global de 77 924€. Ce point correspond à une habitation identique mais avec une étanchéité à l'air de 2m³/h.m² et un système de ventilation de type D avec récupération de chaleur.

Le graphique de la figure 66 montre les résultats du coût global actualisé en fonction du niveau Ew (et non plus en fonction du Espec).

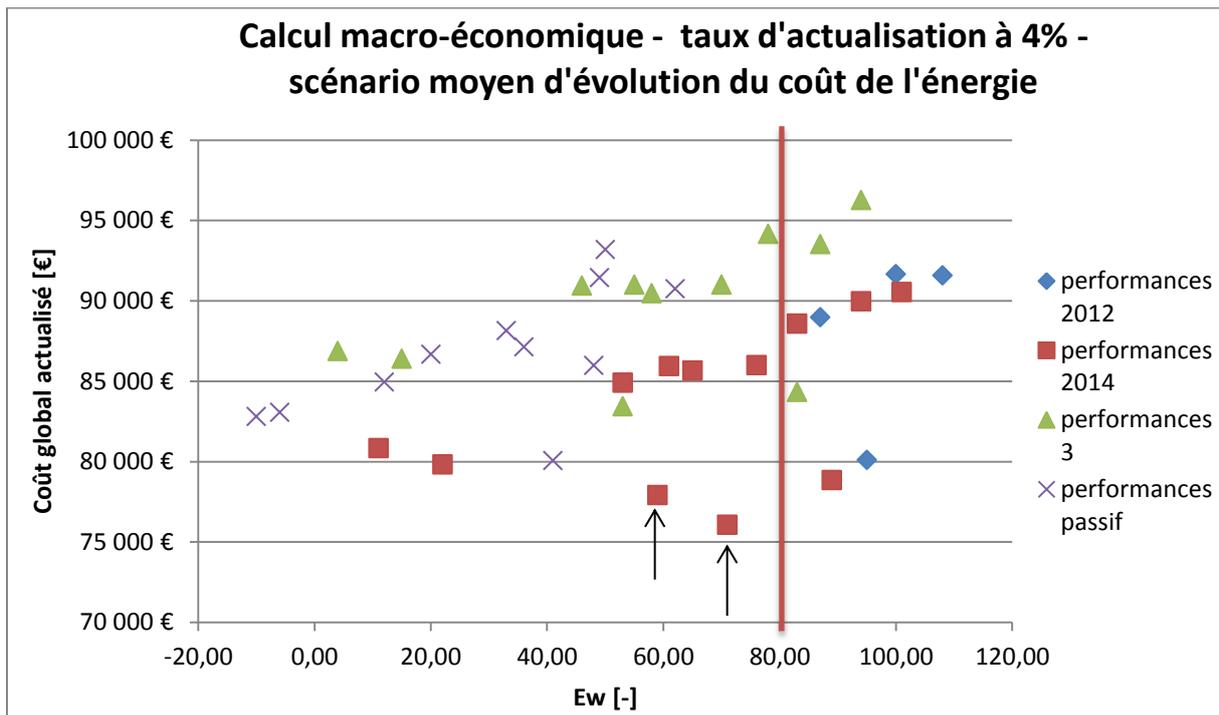


Figure 66 : maison neuve mitoyenne MN2

Nous avons comparé ces premiers résultats obtenus pour un scénario **moyen** de l'évolution du coût de l'énergie (figure 65) avec les résultats pour un scénario **faible** (figure 67) et pour un scénario **élevé** de l'évolution du coût de l'énergie (figure 68).

L'optimum obtenu dans le cadre d'un scénario **faible** d'évolution du coût de l'énergie et pour un scénario moyen sont identiques (figure 67).

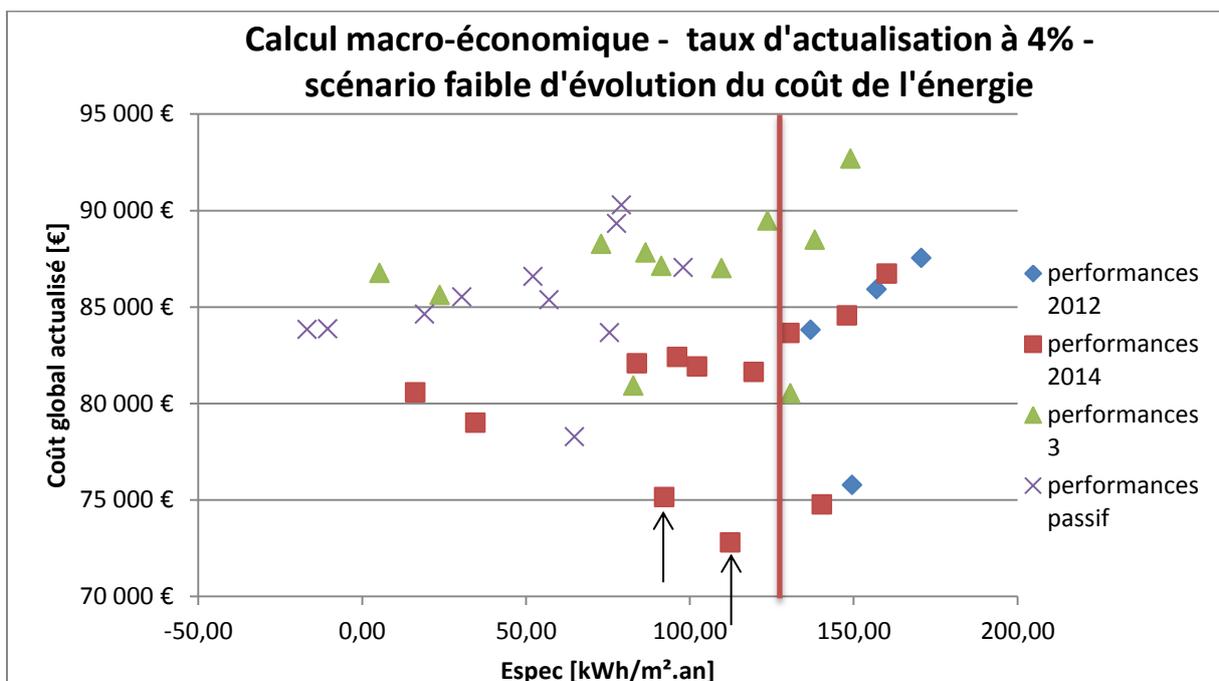


Figure 67 : maison neuve mitoyenne MN2

Pour le scénario **élevé** de l'évolution du coût de l'énergie, les conclusions sont les suivantes (figure

68) : l'optimum correspond à une habitation isolée de type passive, une étanchéité à l'air de $2\text{m}^3/\text{h.m}^2$, un système de ventilation de type D avec récupération, un poêle à bois pour le chauffage, un boiler électrique pour l'ECS et des panneaux photovoltaïques PV2 (Espec $-16,78\text{ kWh/m}^2.\text{an}$, un $E_w = -10$ et un niveau K de 19 pour un coût global de $79\,468\text{€}$).

Notons que sur cette figure 68, il y a énormément de points qui sont très proches en termes de coût global actualisé. Le tableau suivant reprend les 5 mesures-groupes-variantes pointées sur la figure 68.

	Enveloppe	Etanchéité	Ventilation	Chauffage	ECS	ER
1 (35)	Passif	E2	D réc	Poele bois	Elec	PV2
2 (36)	Passif	E2	D réc	Poele bois	Elec	PV1+SolTh1
3 (13)	2014	E2	D réc	CNC mazout	CNC mazout	PV1
4 (30)	Passif	E2	D réc	Poele bois	Chauffe-eau gaz	-
5 (5bis)	2014	E4	C+	CC gaz	CC gaz	-

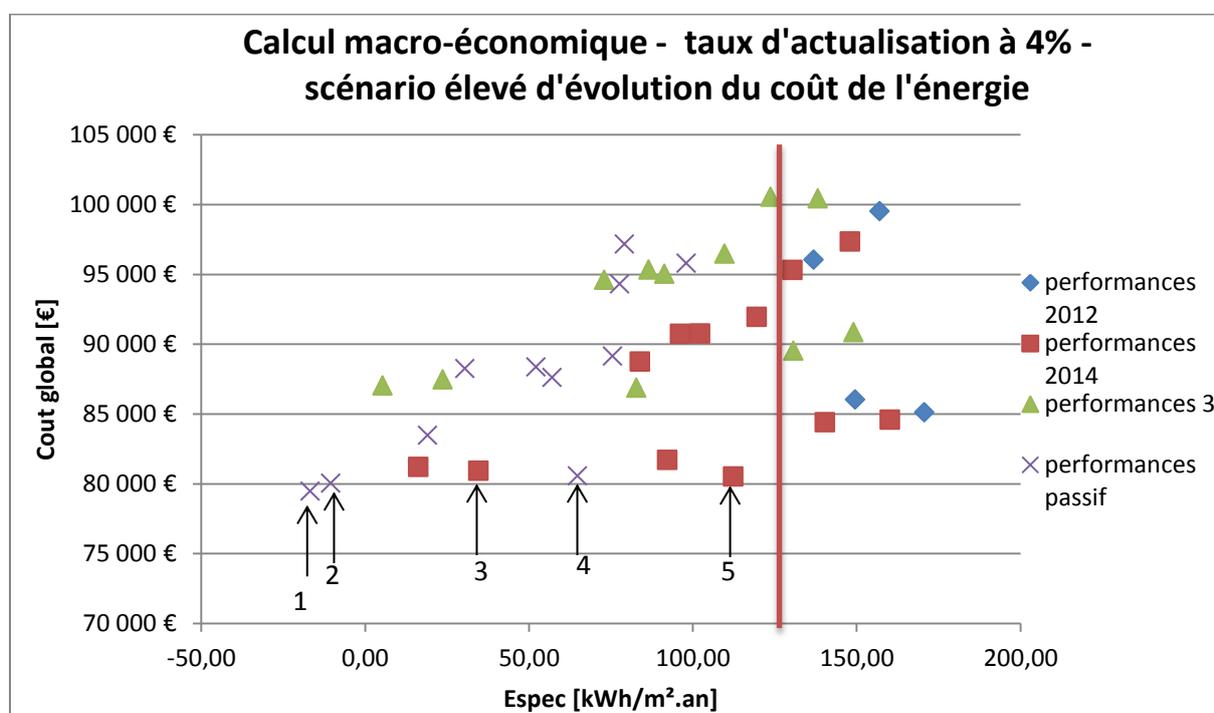


Figure 68 : maison neuve mitoyenne MN2

Le tableau 2, ci-dessous, reprend les valeurs des optima repérés sur les graphiques précédents. En jaune, le « premier optimum » et en gris le « second optimum », proche du coût du premier (tolérance d'environ 1% sur le coût global) mais avec un Espec nettement meilleur. Tous ces points ont été pointés dans l'analyse ci-dessus.

Le numéro, repris dans la première colonne du tableau 2, correspond au numéro de la mesure-groupe-variante étudiée. La description de l'habitation correspondant à ce numéro se trouve dans le rapport sur les bâtiments de référence, en page 48.

N° de variante	Espec [kWh/m ² .an]	Ew	K	Macro-économique -coût faible [€]	Macro-économique -coût élevé [€]	Macro-économique -coût élevé [€]
5	140,28	89	35	74 770	78 848	84 422
5bis	112,27	71	35	72 802	76 064	80 522
10	92,18	59	35	75 145	77 924	81 723
30	64,76	41	19	78 270	80 060	80 564
35	-16,78	-10	19	83 828	82 806	79 468

Tableau 2 : valeurs et coûts obtenus pour 4 mesures-groupes-variantes étudiées par le calcul macro-économique avec un taux d'actualisation de 4%

Le graphique de la figure 69 ci-dessous compare des habitations ayant les mêmes systèmes installés mais des isolations différentes. Les 4 variantes possèdent un système de ventilation de type C et une étanchéité à l'air de 4m³/h.m². On a considéré l'installation d'une chaudière à condensation au mazout ou d'une chaudière à condensation au gaz ou d'une pompe à chaleur sol-eau ou enfin d'une chaudière biomasse non à condensation.

Identiquement à nos observations pour MN1, si on construit aujourd'hui une nouvelle habitation en respectant uniquement (et strictement) les contraintes sur les U de parois, il n'est pas facile de respecter la valeur maximale du Espec de 130 kWh/m².an. Si l'on a une étanchéité à l'air de 4m³/h.m² et un système de ventilation de type C, il faut privilégier une pompe à chaleur pour pouvoir respecter le Espec.

Il est encore plus difficile d'arriver sous la valeur réglementaire actuelle du Espec que pour le cas de l'habitation MN1, car l'habitation MN2 présente un Ach très faible.

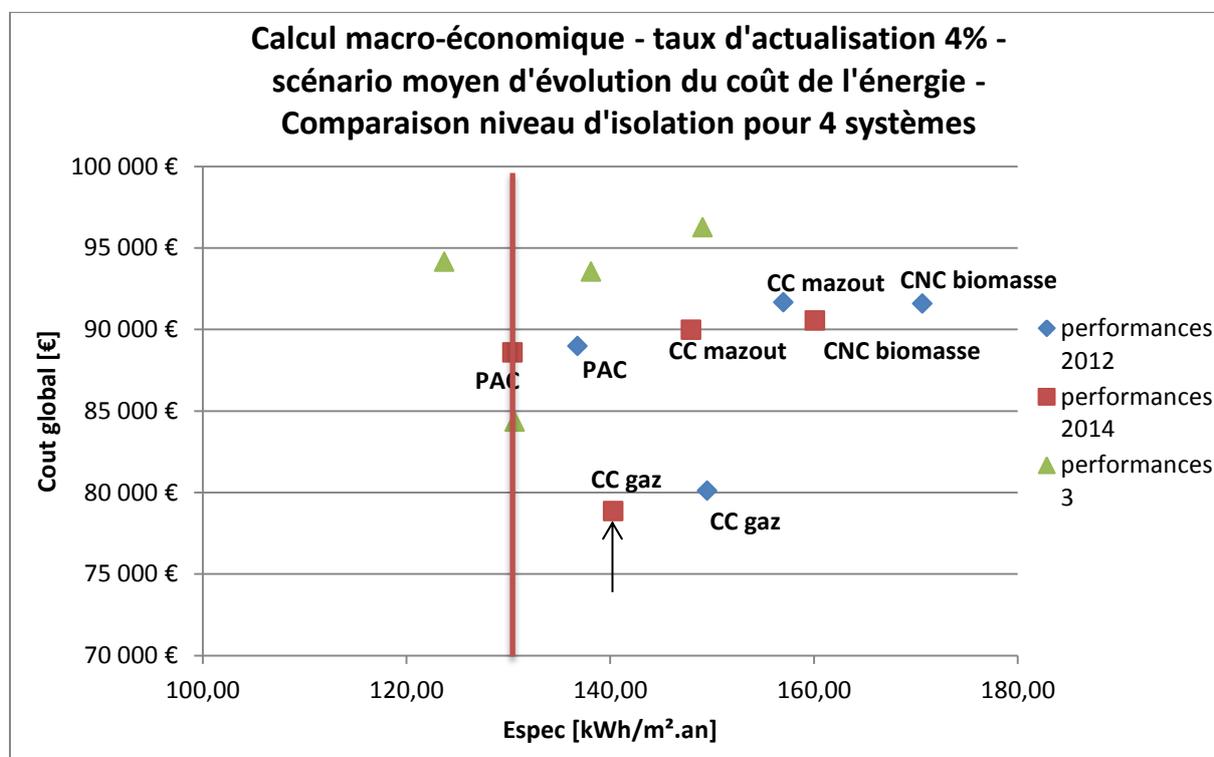


Figure 69 : maison neuve mitoyenne MN2

Le graphique de la figure 70 reprend la description des points ayant des caractéristiques thermiques

de 2014 mais des systèmes différents et permet de situer plus précisément l'optimum.

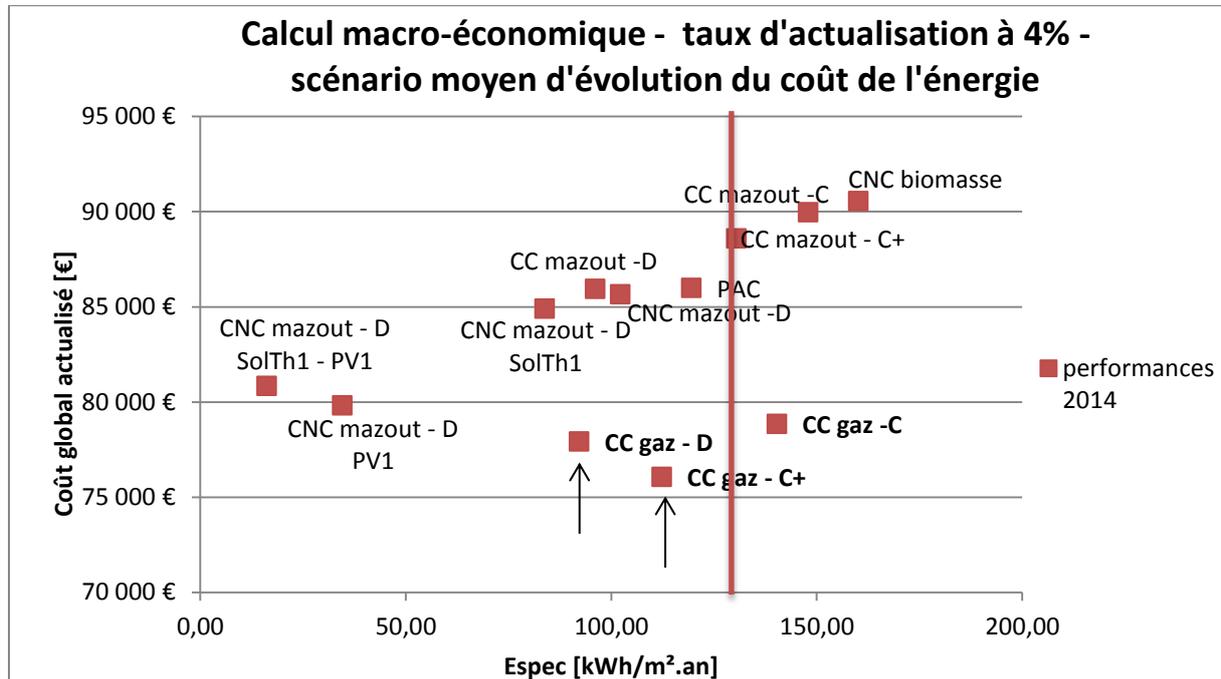


Figure 70 : maison neuve mitoyenne MN2

On observe sur la figure 71 que le coût global obtenu par le calcul macro-économique est toujours inférieur au coût global correspondant au calcul financier. Les tendances et la forme sont respectées d'un calcul par rapport à l'autre, même si l'écart tend à se réduire pour des Especc plus petits.

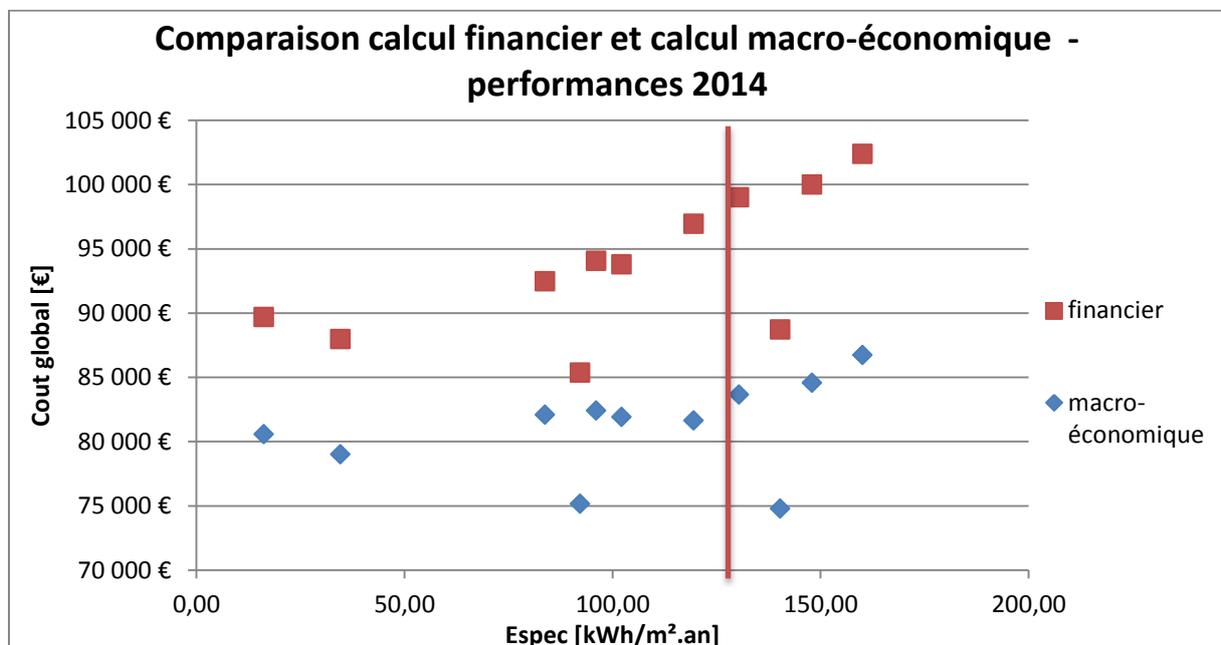


Figure 71 : maison neuve mitoyenne MN2

Dans le cas de cette habitation mitoyenne, on observe des variantes à énergie positive : isolation des parois avec les caractéristiques thermiques du passif, une étanchéité à l'air de $2\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, une ventilation de type D avec récupération de chaleur, un poêle au bois pour le chauffage et un boiler électrique pour la production d'ECS ainsi que la présence de 4m^2 de panneaux solaires thermiques et

de 4165Wc de panneaux photovoltaïques.

Du côté Espec positif, on observe sur la figure 72 que lorsqu'on consomme peu d'énergie dans une habitation (c'est-à-dire Espec plus petit), l'augmentation du coût de l'énergie a peu d'impact sur le coût global. Cela signifie qu'il est plus intéressant d'isoler fortement son habitation dans le cas où le prix de l'énergie augmenterait fortement.

Du côté Espec négatif, maison à énergie positive où l'on revend de l'énergie (électrique), la tendance s'inverse. Plus le coût de l'énergie est élevé, plus il est intéressant d'en avoir trop et de la revendre à bon prix (car cette énergie coûte cher).

Une fois encore, la différence entre les coûts pour des Espec grands est plus importante que pour des Espec plus faibles. Cet écart devient même négatif pour des Espec négatifs.

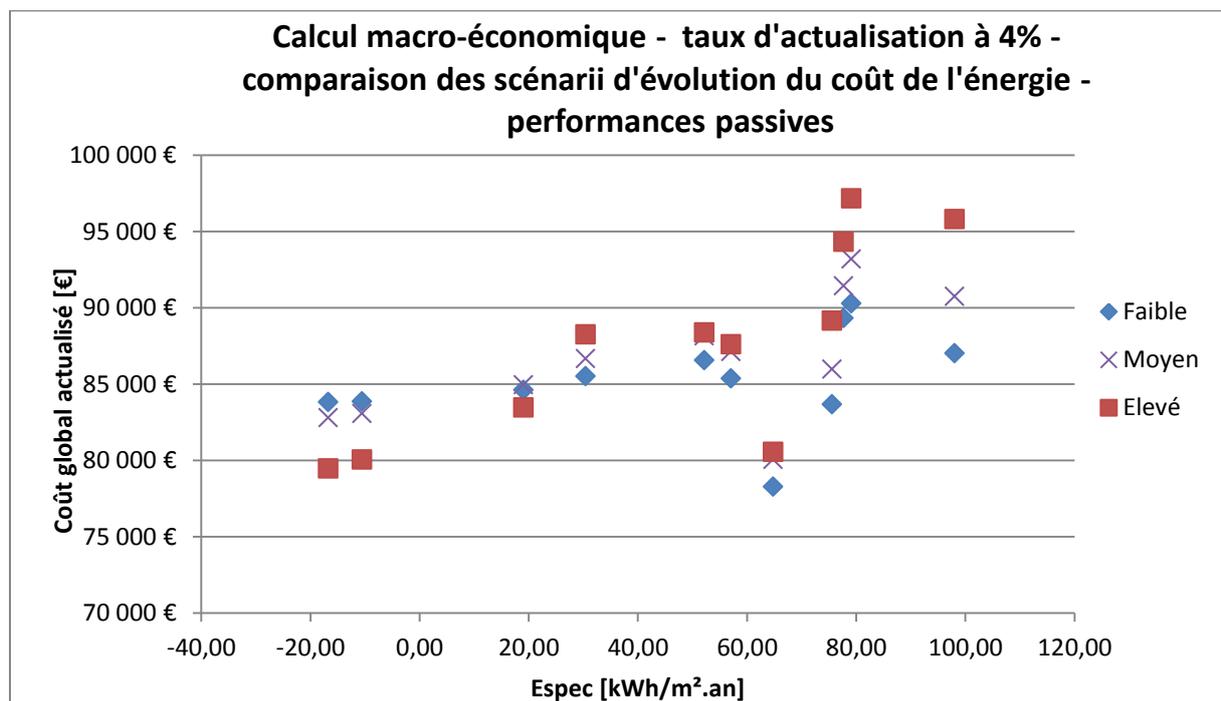


Figure 72: maison neuve mitoyenne MN2

De manière générale, pour MN1 et MN2 individuellement, nous avons observé l'optimum proche de l'exigence actuelle qui est de 130 kWh/m².an pour le Espec et de 80 pour le niveau Ew.

Dans la suite du rapport, page 80 et suivantes, il faut « pondérer » les résultats dans un graphique commun de synthèse, qui tiendra compte des proportions de bâtiments existants MN1 et MN2 et qui intégrera également les résultats des immeubles à appartements neufs.

5. Bâtiments résidentiels « immeubles d'appartements » neufs

Les coûts des mesures / groupes / variantes relatifs aux bâtiments neufs sont déterminés non seulement pour les éléments constituant l'enveloppe mais également pour les systèmes de ventilation, de chauffage, la production d'ECS, et le placement de panneaux solaires thermiques et/ou photovoltaïques. Tous ces composants interviennent dans l'évaluation du niveau de performance énergétique « Ew ».

AN – Appartement neuf

Les graphiques relatifs à l'immeuble d'appartements neuf sont représentés sous la forme de nuage de points qui correspondent aux mesures-groupes-variantes simulées. Elles portent sur les performances thermiques de l'enveloppe (2012, 2014, '3' et passif) et sur les systèmes.

Pour une même performance, les coûts varient globalement de manière identique ; les performances passives ne présentent pas un coût nettement supérieur aux autres performances.

L'isolation 2012 ne permet pas d'atteindre la valeur maximale de 130 kWh/m².an à l'exception du cas dont le système de chauffage est une chaudière à condensation au gaz qui constitue par ailleurs l'optimum économique de ce graphique. Un second optimum est observé ; il correspond aux caractéristiques thermiques de 2014. Il s'agit d'un immeuble d'appartement pourvu d'une étanchéité à l'air de 4m³/h.m², un système de ventilation de type C, d'une chaudière gaz à condensation pour la production d'ECS et pour le chauffage et de panneaux photovoltaïques (PV1). Le Espec est de 58.2 kWh/m².an, le Ew= 39 et le niveau K est de 36 pour un coût global de 409.815 €.

Sur ce graphique, des autres points sont proches de l'optimum. Ils correspondent à un immeuble d'appartements identique qui présente soit un système de ventilation plus performant de type C à la demande ou de type D avec récupérateur de chaleur, soit un autre système de chauffage : biomasse.

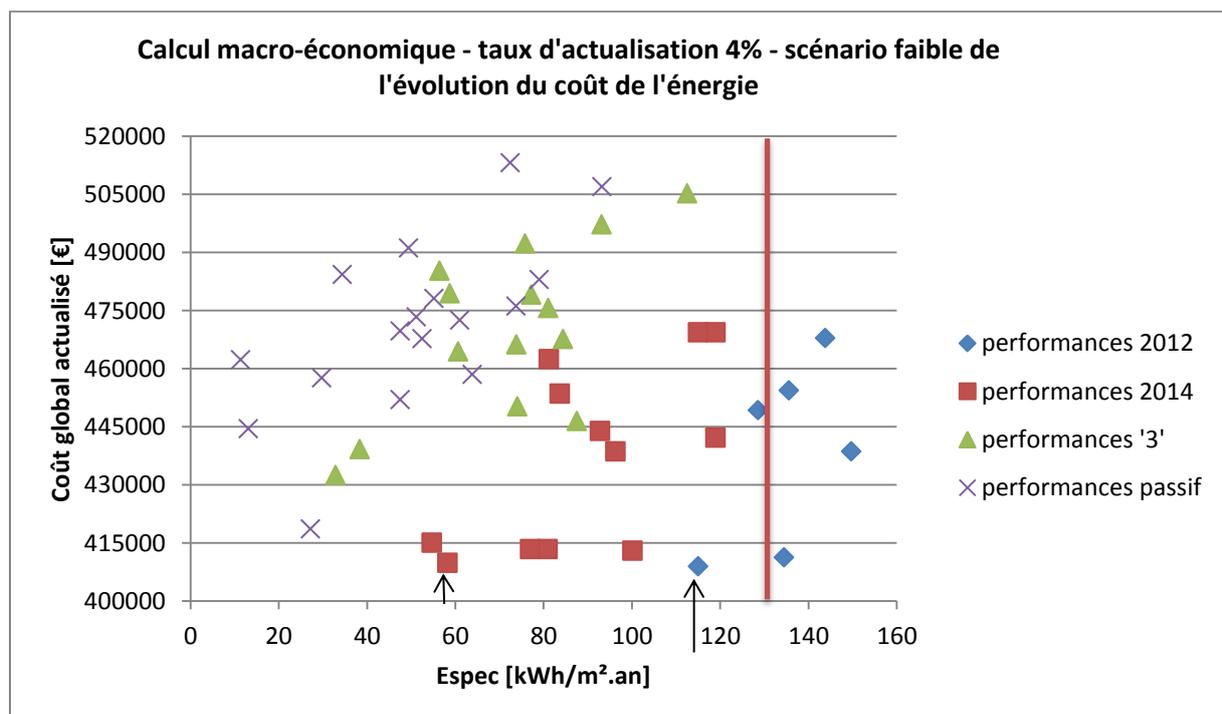


Figure 75 : AN-calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du Espec de mesures pourvues de quatre caractéristiques thermiques différentes

Le coût optimum est nettement marqué. L'immeuble correspondant à cet optimum est pourvu d'une chaudière non à condensation biomasse, une enveloppe respectant les caractéristiques des 2014, une étanchéité à l'air de $4\text{m}^3/\text{h.m}^2$ et d'un système de ventilation de type C+ (Espec $100\text{ kWh}/\text{m}^2.\text{an}$, un $E_w=64$ et un niveau K de 36 pour un coût global de 404.969€).

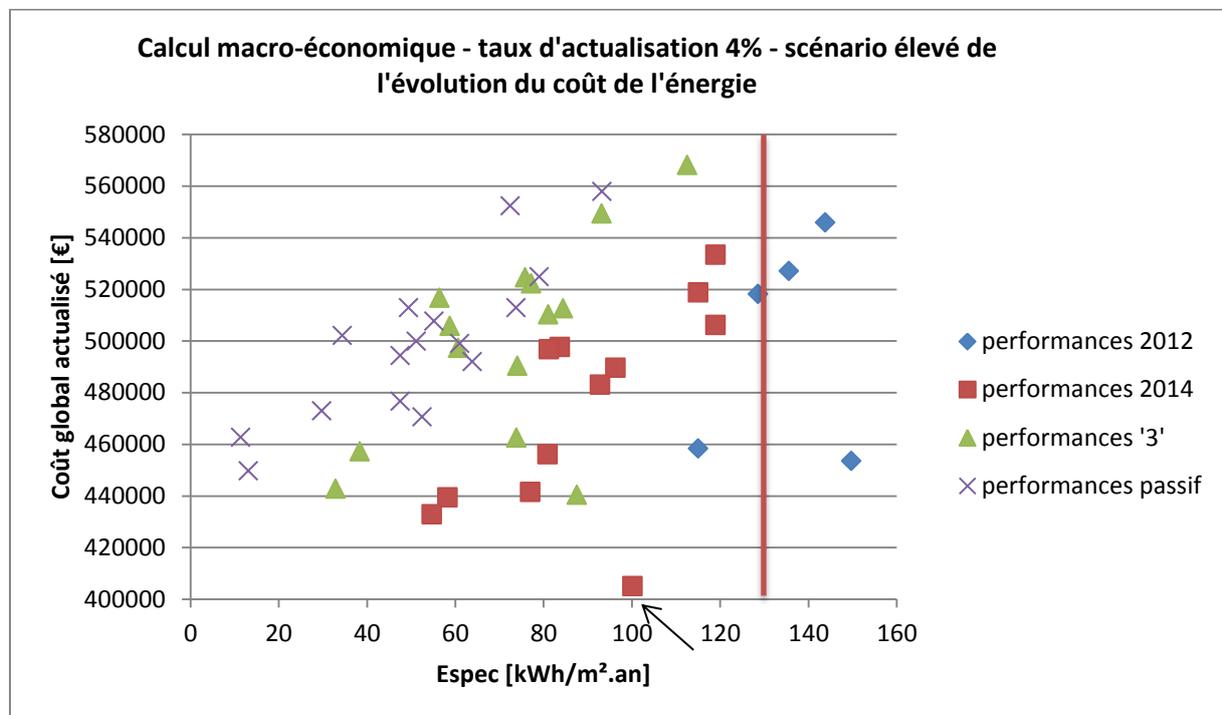


Figure 76 : AN -calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction de l'Espec de mesures pourvues de quatre caractéristiques thermiques

Le graphique ci-dessous montre les mesures/groupes/variantes pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation à 4% et un scénario **moyen** de l'évolution du coût de l'énergie. L'optimum est une nouvelle fois différent par rapport aux deux graphiques précédents : il s'agit d'un immeuble pourvu d'une chaudière non à condensation biomasse, d'une enveloppe respectant les caractéristiques thermiques de type passif, d'une étanchéité à l'air de $2\text{m}^3/\text{h.m}^2$, d'un système de ventilation de type D avec récupération et de panneaux photovoltaïques (Espec $27\text{ kWh}/\text{m}^2.\text{an}$, un $E_w=18$ et un niveau K de 21 pour un coût global de 419.754€).

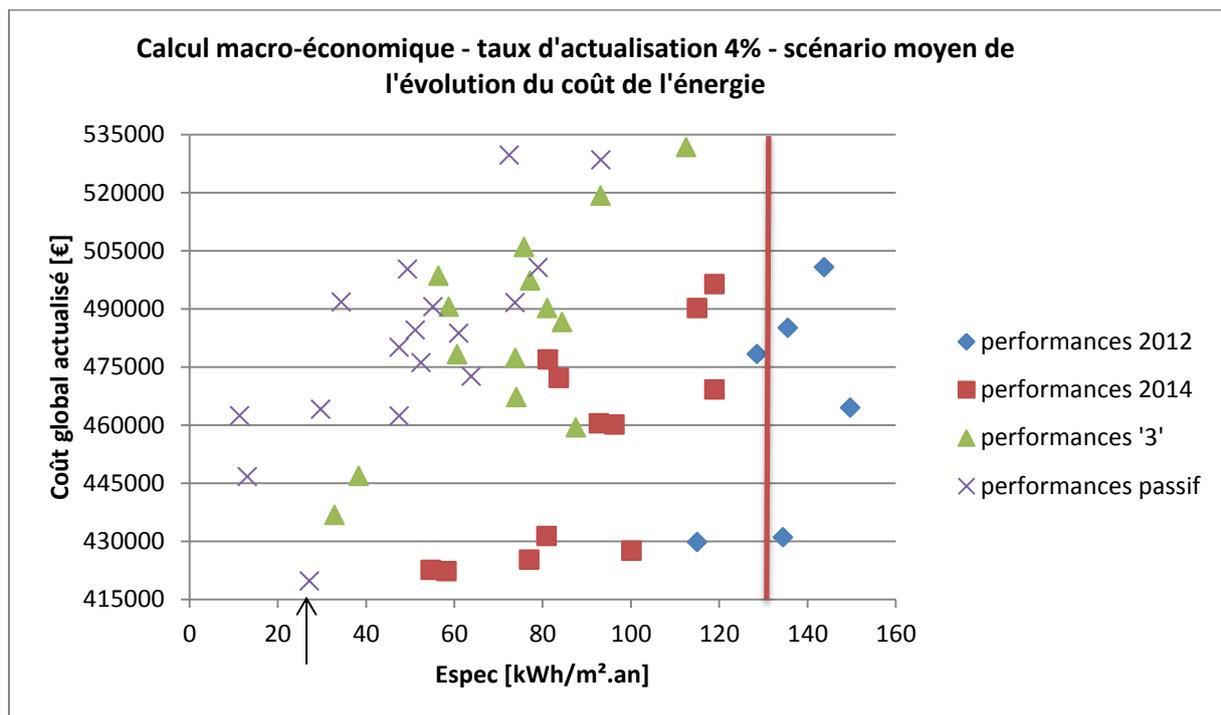


Figure 77 : AN - calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du Espec de mesures pourvues de quatre caractéristiques thermiques différentes

Le graphique suivant montre les résultats du coût global actualisé en fonction du niveau Ew. L'optimum est identique pour ce graphique et pour le graphique précédent. Les autres mesures/groupes/variantes suivent une tendance similaire sur ces deux graphiques.

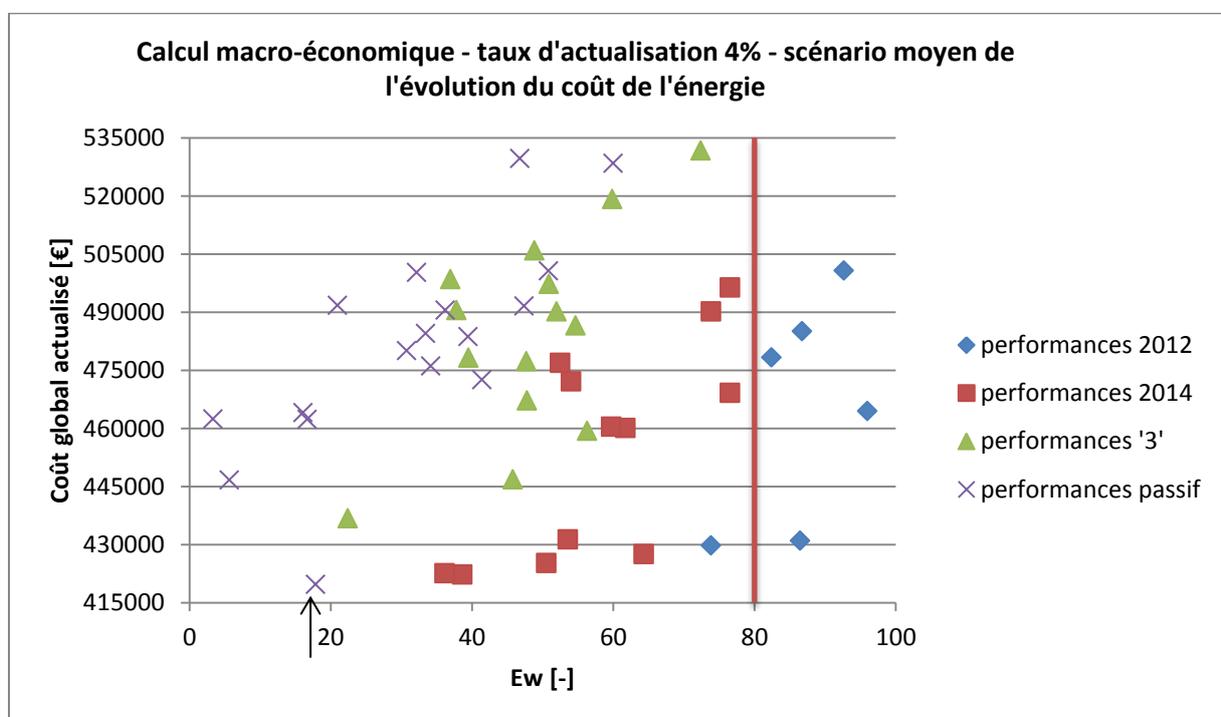


Figure 78 : AN - calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction de Ew de mesures pourvues de quatre caractéristiques thermiques différentes

Le graphique suivant compare des immeubles d'appartements présentant des performances différentes en terme d'isolation, d'étanchéité à l'air ($4\text{m}^3/\text{h.m}^2$ et $2\text{m}^3/\text{h.m}^2$) et de systèmes de ventilation (type C, C+ et D avec récupérateur de chaleur). Les systèmes de chauffage diffèrent également : il s'agit soit d'une chaudière à condensation au mazout, soit d'une chaudière à condensation au gaz, soit d'une pompe à chaleur sol-eau, soit une chaudière biomasse non à condensation.

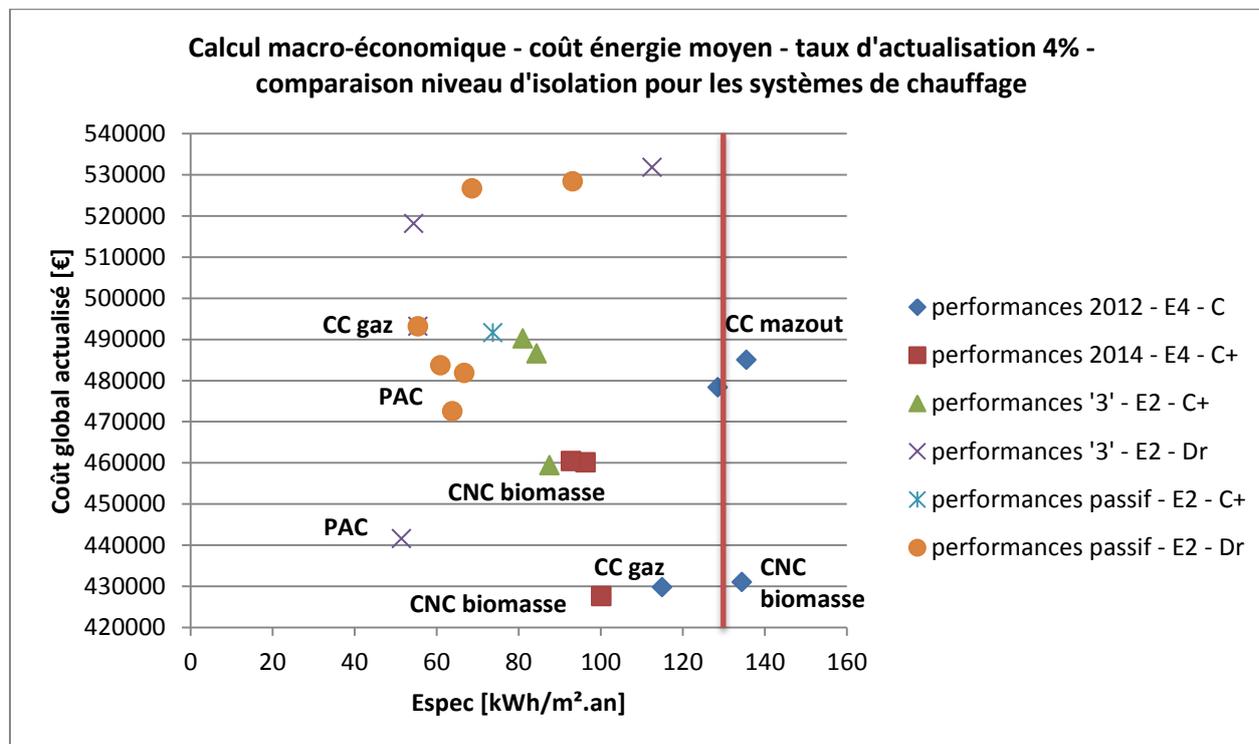


Figure 79 : Calcul macro-économique - coût énergie moyen - taux d'actualisation 4% - comparaison niveau d'isolation pour les systèmes de chauffage : coût global actualisé en fonction du Espec

On observe un optimum avec la chaudière biomasse non à condensation, une isolation caractéristique de 2014, un système de ventilation de type C+ et une étanchéité à l'air de $4\text{m}^3/\text{h.m}^2$. Le Espec est de $100\text{ kWh/m}^2.\text{an}$, le $E_w = 64$ et le niveau K est de 36 (coût global : 427.608 €). Cette constatation est la conséquence d'une forte pénalisation des chaudières biomasses dans le calcul PEB. Un second optimum peut être observé pour un immeuble d'appartements dans lequel une chaudière à condensation au gaz naturelle est placée. Il présente toutefois des caractéristiques moins performantes (caractéristiques thermiques de 2012, étanchéité à l'air de $4\text{m}^3/\text{h.m}^2$ et système de ventilation de type C) : Espec de $114.9\text{ kWh/m}^2.\text{an}$, le $E_w = 74$ et le niveau K de 36.

Le graphique ci-dessous reprend la description des points ayant des caractéristiques thermiques de type '3'. Il est possible d'observer les deux optimums pour la PAC géothermique et pour la chaudière à condensation au gaz.

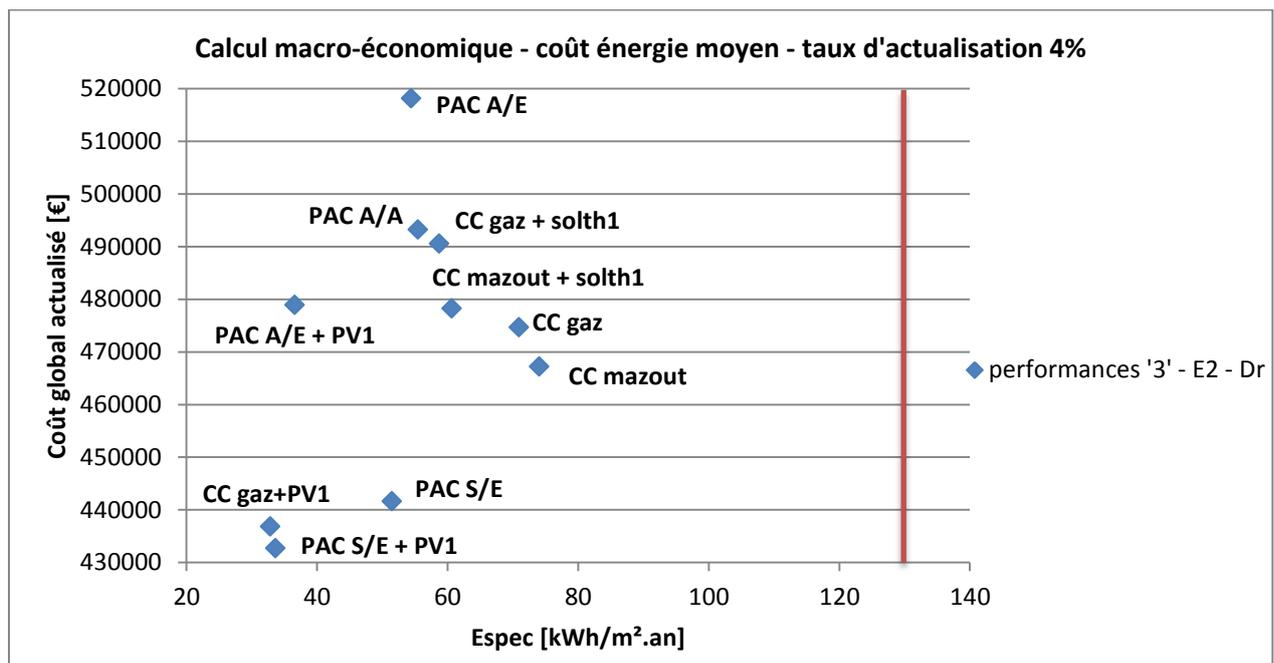


Figure 80 : AN - calcul macro-économique - coût énergie moyen - taux d'actualisation 4% : coût global actualisé en fonction du Espece des mesures de performances '3'-E2-Dr

Les mesures/groupes/variantes de type : performances 2014-E4-C+ sont illustrées sur le graphique suivant. Il compare notamment trois systèmes de chauffage différents (au gaz, au mazout et biomasse). L'optimum correspond à l'installation d'une chaudière biomasse non à condensation sauf si des panneaux photovoltaïques sont placés. En effet, les deux optimums généraux correspondent à une chaudière à condensation (au gaz naturel ou au mazout) combinée à ces panneaux.

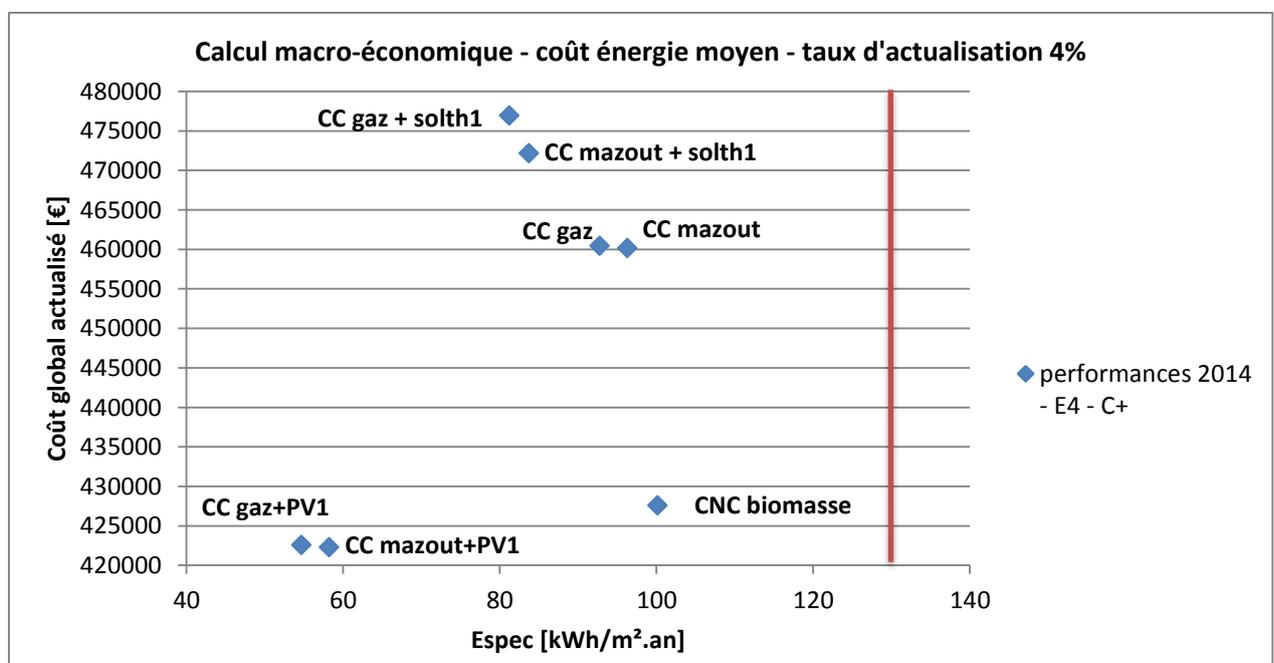


Figure 81 : AN - calcul macro-économique - coût énergie moyen - taux d'actualisation 4% : coût global actualisé en fonction du Espece des mesures de performances 2014-E4-C+

Le graphique suivant indique que pour des mesures/groupes/variantes identiques, le coût global obtenu par le calcul macro-économique est toujours inférieur au coût du calcul financier.

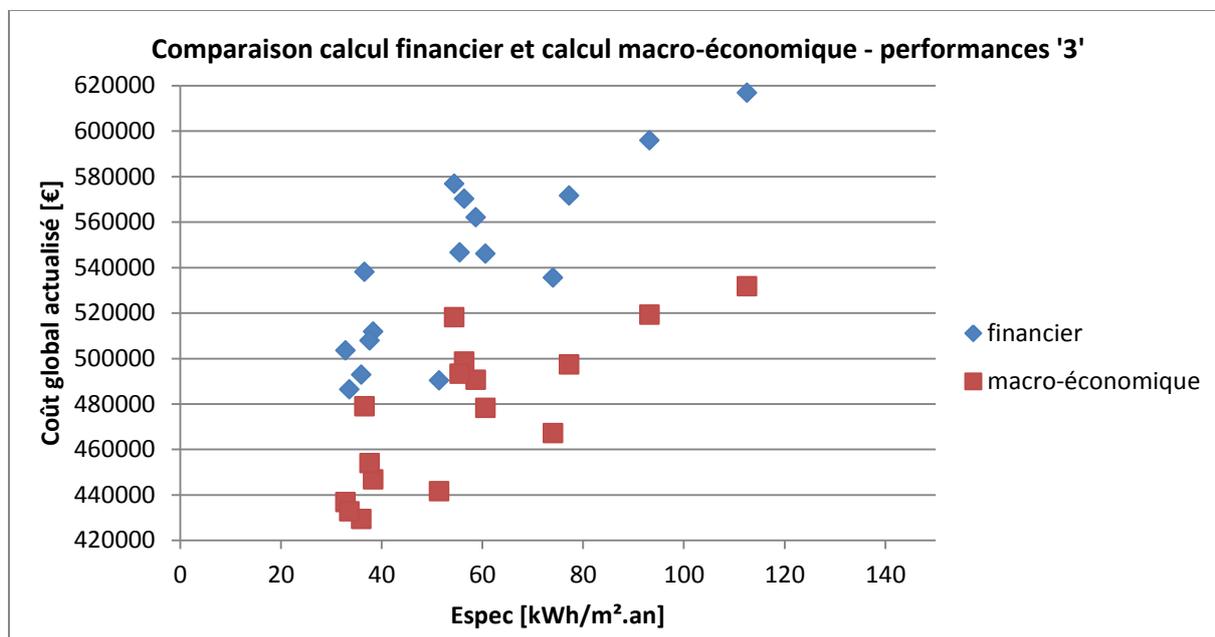


Figure 82 : AN - comparaison calcul financier et calcul macro-économique - coût énergie moyen - taux d'actualisation 4% : coût global actualisé en fonction du Espec des mesures de performances '3'

La figure 83 montre que, similairement à la maison neuve MN1, plus la consommation d'énergie est faible, plus l'impact de l'augmentation du coût de l'énergie sur le coût global est faible. Il est donc préférable de mettre en place une isolation de l'enveloppe performante dans le cas où le prix de l'énergie augmenterait fortement (investissement de base compensé par l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans).

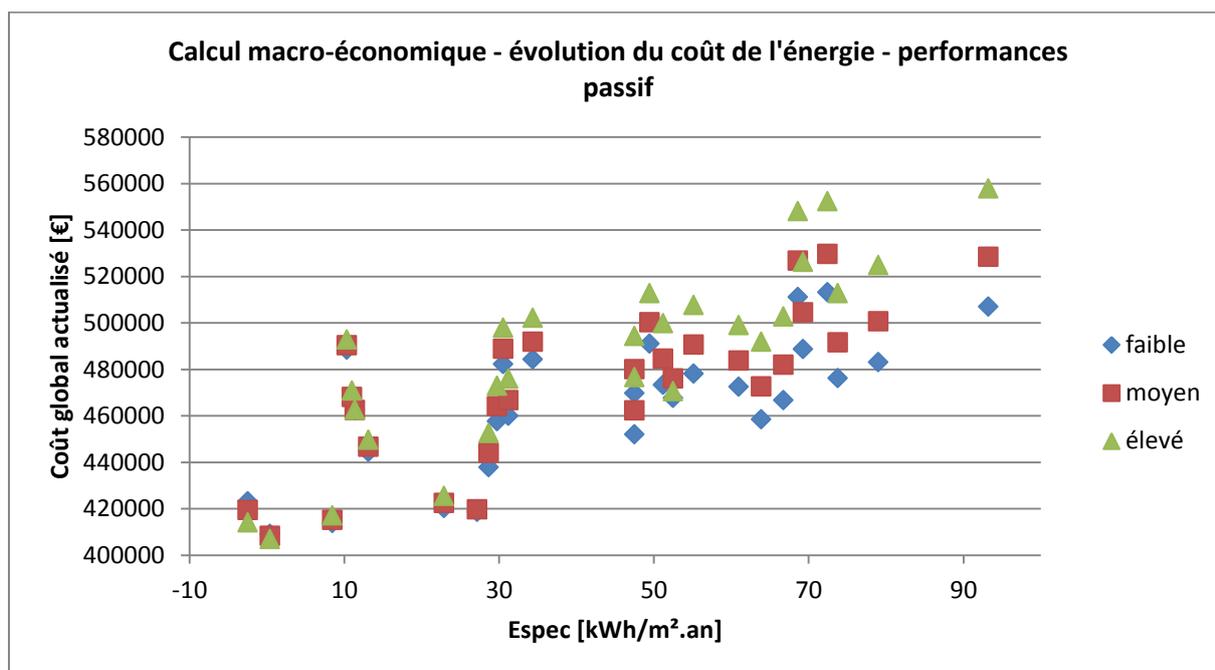


Figure 83 : AN - calcul financier - évolution du coût de l'énergie - taux d'actualisation 4% : coût global actualisé en fonction du Espec des mesures de performances « passif »

6. Résultats globaux pour le résidentiel existant

Dans cette partie du rapport, nous allons globaliser les résultats pour tous les bâtiments de référence existants étudiés. Nous présentons les résultats obtenus selon les hypothèses retenues, à savoir, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4% et scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie. Les autres graphiques se trouvent en annexe.

Pour rappel, les bâtiments de référence pour le résidentiel existant sont : une maison unifamiliale mitoyenne (ME1), une maison unifamiliale 4 façades (ME2), un immeuble d'appartements dans un bâtiment mitoyen divisé en plusieurs unités de logements (AE1) et un immeuble d'appartements de type « Etrimmo » (AE2). Ces quatre types de logements ont été choisis comme bâtiments de référence suite à notre étude. Dans le rapport « bâtiments de référence », page 10, nous reprenons le pourcentage de chacun de ces logements dans le parc de logements construits en Région Wallonne. Ils sont répartis comme suit:

Type de logements	Pourcentage
ME1	16 %
ME2	13 %
AE1	6 %
AE2	6 %

Tableau 3 : Pourcentage des typologies de logements existants en Région Wallonne [source : Etude UCL]

Afin de pondérer les résultats obtenus dans notre étude, nous considérerons donc les pourcentages du tableau 4 :

Type de logements	Pourcentage
ME1	39%
ME2	32%
AE1	14,5%
AE2	14,5%

Tableau 4: Proportion relative des bâtiments envisagés dans l'étude CO-ZEB (sur un total de 41% parmi les logements existants en Région Wallonne)

Les résultats individuels, présentés précédemment, sont donc pondérés selon le pourcentage du tableau 4 pour obtenir les résultats globaux.

Pour chaque bâtiment une série de mesures/groupes/variantes a été étudiée, comme par exemple le remplacement des fenêtres seules ou l'isolation complète de la maison selon les caractéristiques thermiques de 2014 ... De plus, nous avons tenu compte des spécificités de chaque bâtiment et des différentes mises en œuvre d'isolation réalisables : soit une isolation complète de l'habitation par l'extérieur, soit en partie par l'extérieur et en partie par l'intérieur.

Lorsque nous avons envisagé plusieurs mises en œuvre possibles, nous avons également pondéré chacune des méthodes par un pourcentage.

Type de logements	Répartition selon méthode d'isolation
ME1	50% pour isolation mur arrière par l'EXT 50% pour isolation mur arrière par l'EXT et mur avant par l'INT
ME2	50% pour isolation totale par l'EXT 50% pour isolation par l'EXT de 3 façades et par l'INT d'une façade

AE1	50% pour isolation mur arrière par l'EXT 50% pour isolation mur arrière par l'EXT et mur avant par l'INT
AE2	100% par l'EXT

Tableau 5 : Pourcentage selon méthode d'isolation choisie

L'immeuble d'appartements AE1 est décrit, dans l'analyse individuelle, comme un bâtiment principal et un bâtiment annexe. Etant donné que cette configuration n'est pas comparable aux autres bâtiments, seul le bâtiment principal a été pris en compte dans les résultats globaux qui suivent ci-dessous. De plus, étant donné que la volumétrie du bâtiment principal est beaucoup plus importante que celle de l'annexe, on peut négliger cette annexe.

L'isolation passive des bâtiments est envisagée pour une isolation complète avec les murs mitoyens et pour une isolation sans les murs mitoyens.

La méthode de calcul est la suivante :

- Analyse des mesures-groupes-variantes de chaque bâtiment
- Combinaison des mesures identiques: par exemple, V2012 seul ou F2012 seul ou F2014+T2014+M2014+S2014, ...
 - o Selon le pourcentage de la typologie du logement en Région Wallonne
 - o Selon pourcentage de la méthode d'isolation choisie

Les résultats sont présentés sur des graphiques du coût global actualisé en fonction du U [W/m²K] d'un élément de bâtiment. Sur chaque graphique, une droite verte pointillée situe le bâtiment **global** de « base » sur lequel aucune amélioration thermique n'est apportée.

Bâtiment résidentiel « GLOBAL » existant

La figure 84 illustre le coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre. Pour chacune des courbes, on peut observer un optimum :

- Si on remplace uniquement les fenêtres, l'optimum est « fenêtres 2014 », pour un coût global actualisé de 252 267€¹ et un niveau K de 93.
- Si on remplace les fenêtres et qu'on isole le toit, l'optimum correspond aux caractéristiques de 2014, pour un coût global actualisé de 252 756€ et un niveau K de 85.
- Si on remplace les fenêtres, qu'on isole le toit et les murs, l'optimum se situe au niveau des caractéristiques de 2014, pour un coût global actualisé de 225 917€ et un niveau K de 51.
- Si on isole toute l'habitation, l'optimum est une isolation de type passif mais sans l'isolation des murs mitoyens, pour un coût global actualisé de 214 404€ et un niveau K de 22.

Il est donc nécessaire de justifier l'écart, entre une isolation complète de l'habitation, aujourd'hui, aux caractéristiques de **2012** (voire 2014) par rapport à l'optimum global qui correspond à une isolation complète du bâtiment résidentiel de **type passif** mais sans isoler les parois mitoyennes.

Pour isoler de manière passive toute son habitation, il est nécessaire de pouvoir faire un investissement de base très important. Dans cette étude, nous avons considéré que l'investissement initial ne nécessitait pas de faire un emprunt. Or si un emprunt doit être fait, il faudrait également prendre en compte les coûts qui lui sont associés.

Si l'important investissement initial n'est pas envisageable alors une isolation totale « 2014 » reste tout à fait intéressante.

¹ Ce coût correspond aux coûts pondérés des bâtiments résidentiels et des immeubles à appartements.

En effet, sur la figure 84, le second optimum est obtenu avec une isolation complète du bâtiment résidentiel selon les caractéristiques thermiques de 2014 (pour un coût global actualisé de 225 848€ et un niveau K de 43). Une différence de 10 000€ sur 30 ans est observée, par rapport à l'isolation de type passif, c'est-à-dire une différence de 30€/mois.

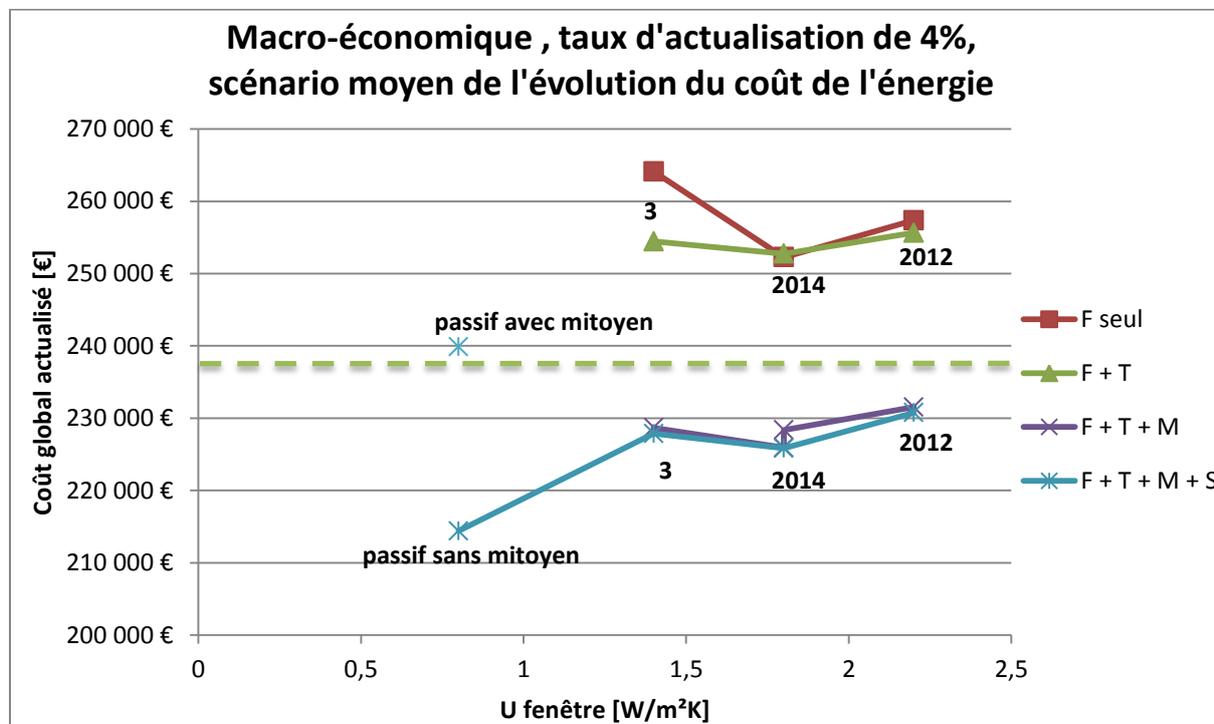


Figure 84 : coût global actualisé en fonction du U fenêtre – résidentiel existant GLOBAL

La figure 85 illustre le coût global actualisé en fonction du U du toit. Pour chacune des courbes, on peut observer un optimum :

- Si on isole uniquement le toit, il n'y a pas d'optimum, le coût global actualisé reste quasiment constant
- Si on remplace les fenêtres et qu'on isole le toit, l'optimum se situe au niveau des caractéristiques de 2014.
- Si on remplace les fenêtres, qu'on isole le toit et les murs, l'optimum correspond aux caractéristiques de 2014.
- Si on isole toute l'habitation, l'optimum est une isolation de type passif mais sans l'isolation des murs mitoyens.

Pour l'isolation complète de l'habitation, l'optimum observé pour le type passif peut se justifier de manière identique à la figure 84.

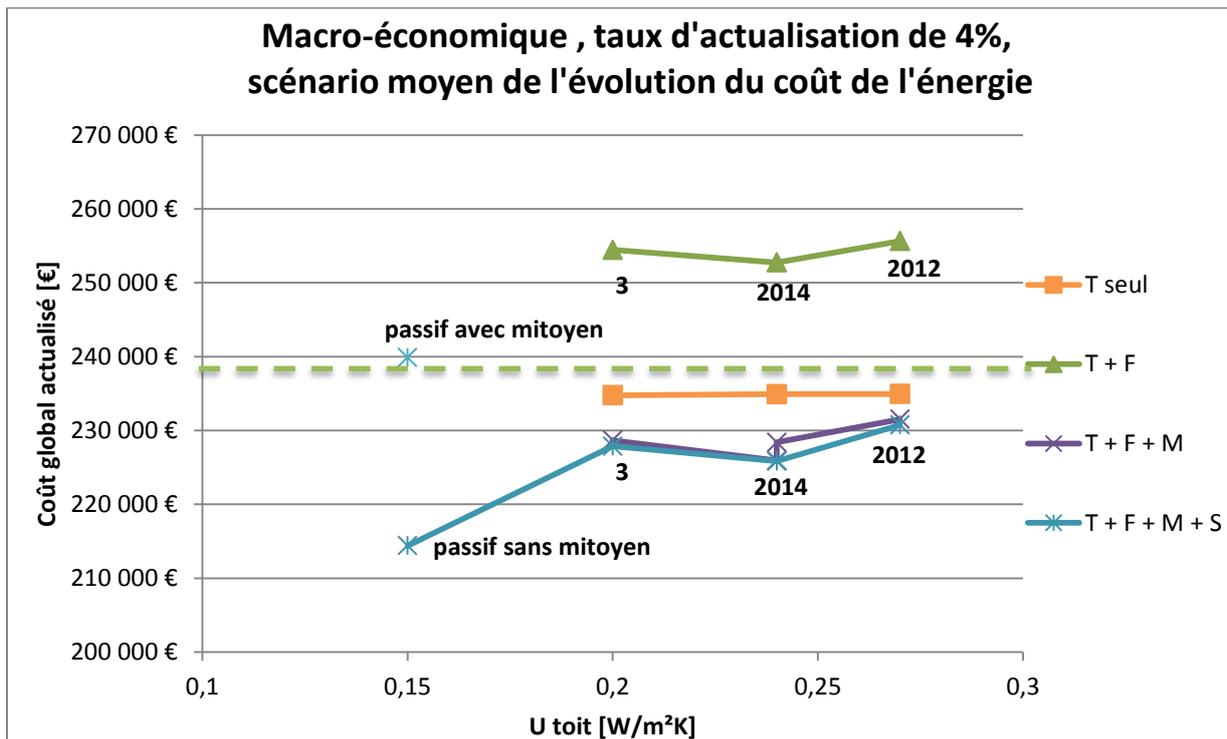


Figure 85 : coût global actualisé en fonction du U toit – résidentiel existant GLOBAL

La figure 86 illustre le coût global actualisé en fonction du U du mur. Pour chacune des courbes, on peut observer un optimum :

- Si on remplace les fenêtres, qu'on isole le toit et les murs, l'optimum correspond aux caractéristiques de 2014.
- Si on isole toute l'habitation, l'optimum est une isolation de type passif mais sans l'isolation des murs mitoyens.

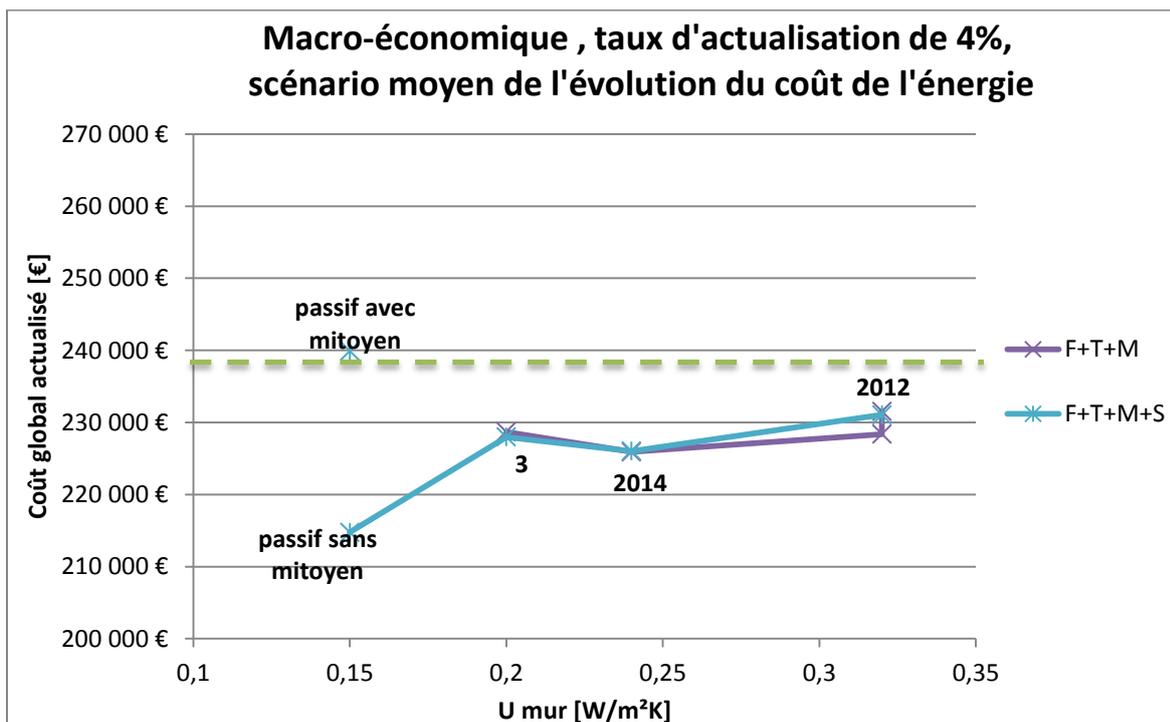


Figure 86: coût global actualisé en fonction du U mur – résidentiel existant GLOBAL

La figure 87 illustre le coût global actualisé en fonction du U du sol. On peut observer un optimum :

- Si on isole toute l'habitation, l'optimum est une isolation de type passif mais sans l'isolation des murs mitoyens.

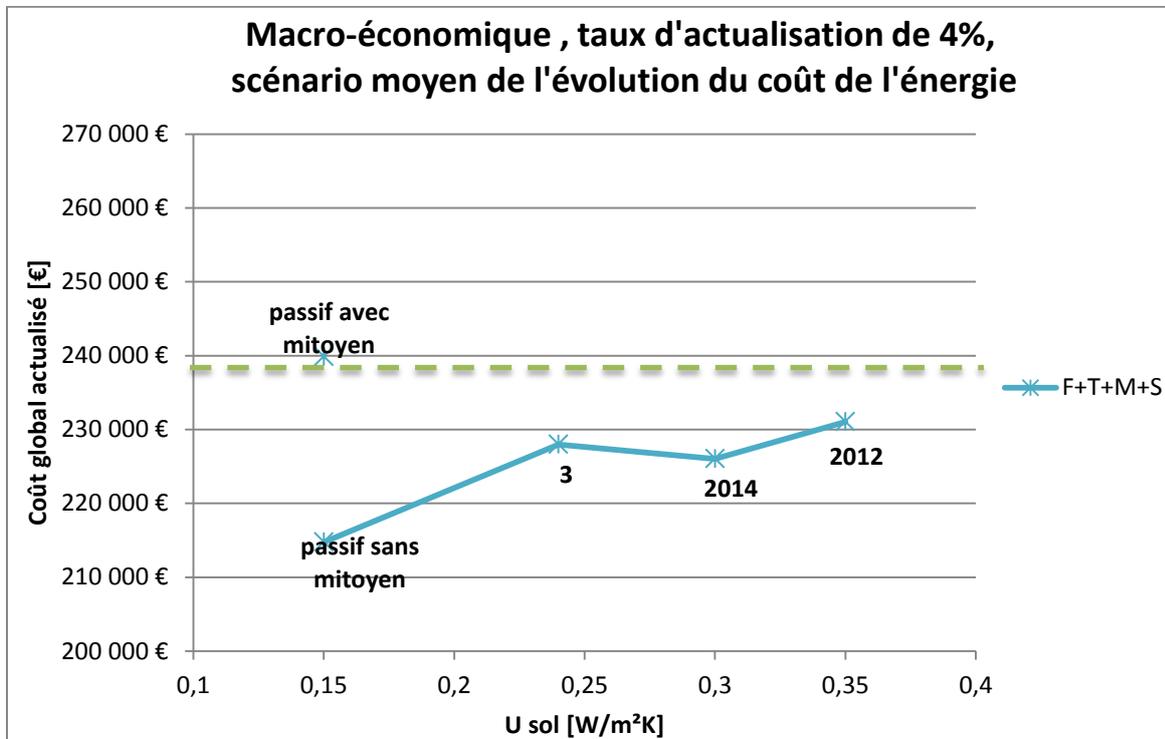


Figure 87 : coût global actualisé en fonction du U sol – résidentiel existant GLOBAL

7. Résultats globaux pour le résidentiel neuf

Dans cette partie du rapport, les résultats pour tous les bâtiments de référence neufs étudiés sont globalisés. Les trois types de logements ont été choisis comme bâtiments de référence suite à notre étude : pages 23 à 25, rapport « bâtiments de référence ».

Les bâtiments de référence pour le résidentiel neuf sont : une maison unifamiliale 4 façades construction traditionnelle (MN1), une maison mitoyenne en ossature bois (MN2), un immeuble d'appartements (AN). Ces trois types de logements sont répartis comme suit:

Type de logements	Pourcentage
MN1	72%
MN2	18%
AN	10%

Tableau 6 : Pourcentage des typologies de logements neufs en Région Wallonne rapporté à un total de 100%

Les résultats individuels sont donc pondérés selon le pourcentage du tableau 6 pour obtenir les résultats globaux.

Dans l'analyse individuelle de chaque bâtiment neuf de référence, plus de 30 mesures/groupes/variantes ont été étudiées et analysées. Pour les résultats globaux nous avons dû nous limiter aux mesures/groupes/variantes qui sont identiques entre les MN et AN : c'est-à-dire une isolation thermique et une étanchéité de l'enveloppe identiques mais également des systèmes et vecteur énergétique identiques. Douze mesures/groupes/variantes ont donc ainsi pu être analysées de manière globale pour le résidentiel neuf, elles sont reprises dans le tableau 7.

	Ufenêtres	Utoit	UMur	USol	Etanch.	Ventil.	Chauffage	ECS	VE	ER
1	F2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	CC	C	M	-
2	F2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	CC	C	GN	-
3	F2012	Utoit 2012	Umur 2012	Usol 2012	E4	C	CNC	C	B	-
4	F2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C	CC	C	M	-
5	F2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C+	CC	C	M	-
6	F2014	Utoit 2014	Umur 2014	Usol 2014	E4	C+	CC	C	GN	-
7	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	D réc	CC	C	M	-
8	F3	Utoit 3	Umur 3	Usol 3	E2	D réc	CC	C	GN	-
9	F3	Utoit passif	Umur passif	Usol passif	E2	D réc	CC	C	GN	-
10	F passif	Utoit passif	Umur passif	Usol passif	E2	D réc	PAC	E	E	-
11	F passif	Utoit passif	Umur passif	Usol passif	E2	D réc	E	E	E	-
12	F passif	Utoit passif	Umur passif	Usol passif	E2	D réc	E	E	E	PV1

Tableau 7 : ensemble des variantes étudiées pour les bâtiments résidentiels neufs

Bâtiment résidentiel « GLOBAL » neuf

Pour le calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4% et scénario **moyen** de l'évolution du coût de l'énergie, sur la figure 88, l'optimum (parmi les mesures/groupes/variantes étudiées) correspond à un bâtiment isolé selon les caractéristiques thermiques de 2014, une étanchéité à l'air de $4\text{ m}^3/\text{h.m}^2$, dans lequel est installée une chaudière à condensation au gaz (pour le chauffage et la production d'ECS) ainsi qu'un système de ventilation de type C+.

Le Espec est de $112,6\text{ kWh/m}^2.\text{an}$, ce qui respecte bien les 15% d'écart par rapport aux $130\text{ kWh/m}^2.\text{an}$ exigés aujourd'hui.

Sur la figure 88, on observe qu'une isolation des parois selon les caractéristiques thermiques de 2014 permet dans 2 des 3 cas étudiés d'être sous l'exigence du Espec $130\text{ kWh/m}^2.\text{an}$, et d'avoir un coût global actualisé faible. Les caractéristiques thermiques '3' ainsi que celles du passif amènent à des coûts globaux actualisés plus élevés. Tandis que les caractéristiques thermiques actuelles (2012) ne permettent pas, pour les variantes étudiées, de passer sous la barre des $130\text{ kWh/m}^2.\text{an}$ exigés.

Parmi les systèmes les plus intéressants, on trouve la chaudière gaz à condensation, qui a un excellent rendement et qui a un coût d'investissement initial tout à fait abordable, car c'est l'une des technologies les plus matures. Tous les systèmes électriques sont moins intéressants, notamment car le coût de l'énergie électrique est le plus élevé. La chaudière non à condensation biomasse se trouve en bonne position. Grâce à un investissement abordable et grâce au coût de l'énergie relativement faible, le coût global actualisé n'est pas trop élevé. Néanmoins le faible rendement de cette chaudière ne permet pas d'atteindre les exigences du Espec.

Si le gaz n'est pas accessible dans le bâtiment, alors une chaudière à condensation au mazout reste intéressante par rapport à une chaudière non à condensation biomasse. Cette conclusion change si le coût de l'énergie augmente fortement.

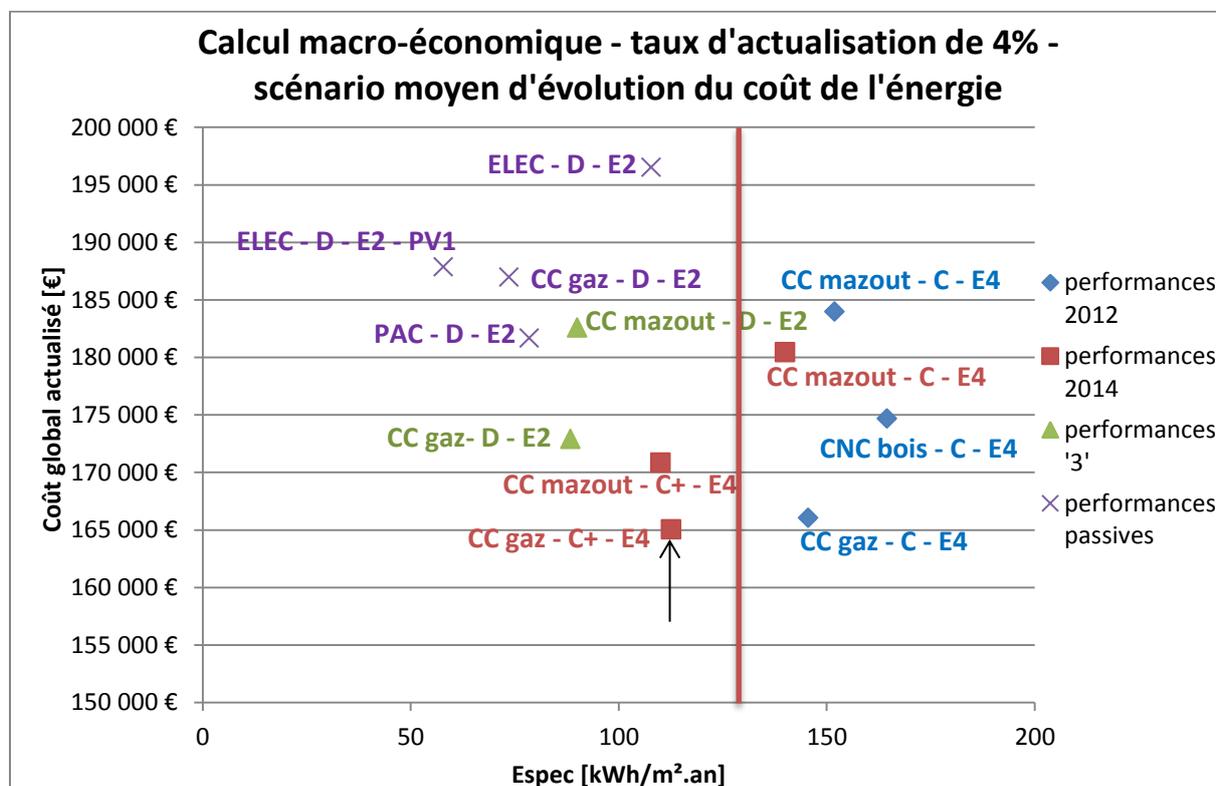


Figure 88 : coût global actualisé en fonction du Espec – résidentiel neuf GLOBAL

Sur la figure 89, on analyse le coût global actualisé en fonction du Ew.

Le niveau optimum Ew est de 65,55, ce qui est au-delà des 15% d'écart par rapport au niveau 80 exigé aujourd'hui. Ce niveau Ew est de 2,5 points trop bas pour être compris dans les 15% d'écarts avec le niveau Ew exigé pour les nouvelles constructions.

On peut noter que l'adéquation entre les exigences sur le Espec, celles sur le Ew et celles sur les U de parois ne sont pas nécessairement compatibles. En effet, en respectant strictement les impositions actuelles sur les caractéristiques thermiques des parois, il est souvent difficile d'atteindre le niveau Ew exigé, sans recourir au placement de systèmes très performants.

Cette adéquation serait nettement meilleure si l'on conservait les exigences actuelles de Espec et Ew et que l'on imposait par ailleurs les Umax 2014.

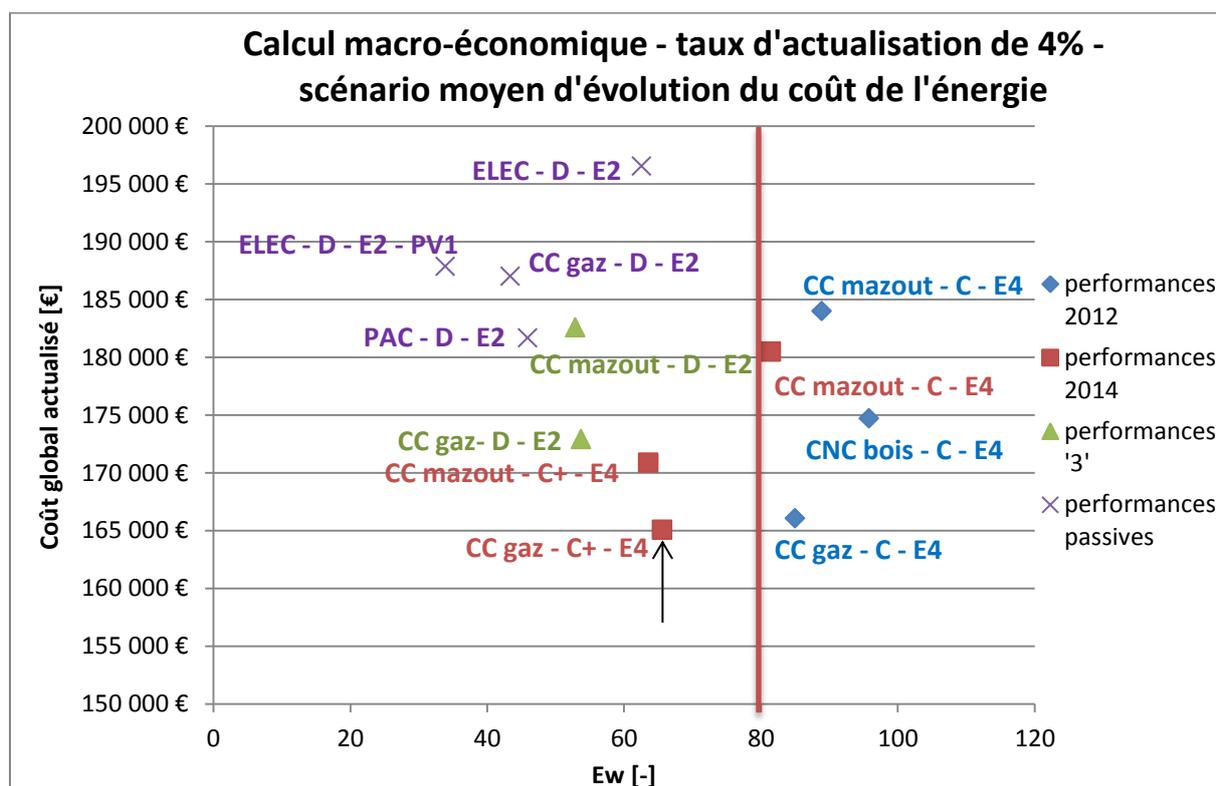


Figure 89 : coût global actualisé en fonction du Ew – résidentiel neuf GLOBAL

Pour le calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4% et scénario **faible** de l'évolution du coût de l'énergie, l'optimum (figure 90) correspond à un bâtiment isolé selon les caractéristiques thermiques de 2012, une étanchéité à l'air de $4\text{m}^3/\text{h.m}^2$, dans lequel sont installés une chaudière à condensation au gaz (pour le chauffage et la production d'ECS) ainsi qu'un système de ventilation de type C. Néanmoins le second optimum (bâtiment isolé selon les caractéristiques thermiques de 2014, étanchéité à l'air de $4\text{m}^3/\text{h.m}^2$, chaudière à condensation au gaz, système de ventilation de type C+) est très proche du premier optimum et surtout permet d'atteindre un Espec inférieur à $130\text{kWh}/\text{m}^2.\text{an}$.

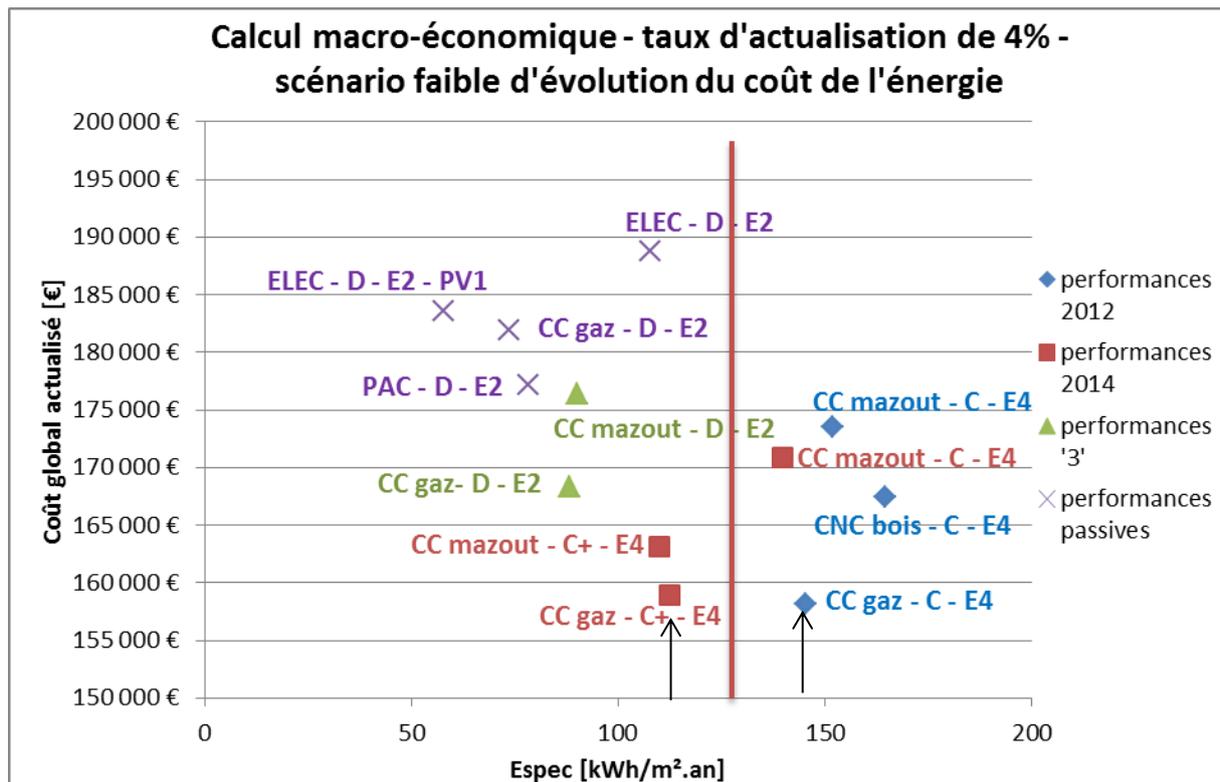


Figure 90 : coût global actualisé en fonction du Espec – résidentiel neuf GLOBAL

Pour le calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4% et scénario **élevé** de l'évolution du coût de l'énergie, l'optimum (figure 91) correspond à un bâtiment isolé selon les caractéristiques thermiques de 2012, une étanchéité à l'air de $4\text{m}^3/\text{h.m}^2$, dans lequel est installée une chaudière non à condensation biomasse (pour le chauffage et la production d'ECS) ainsi qu'un système de ventilation de type C.

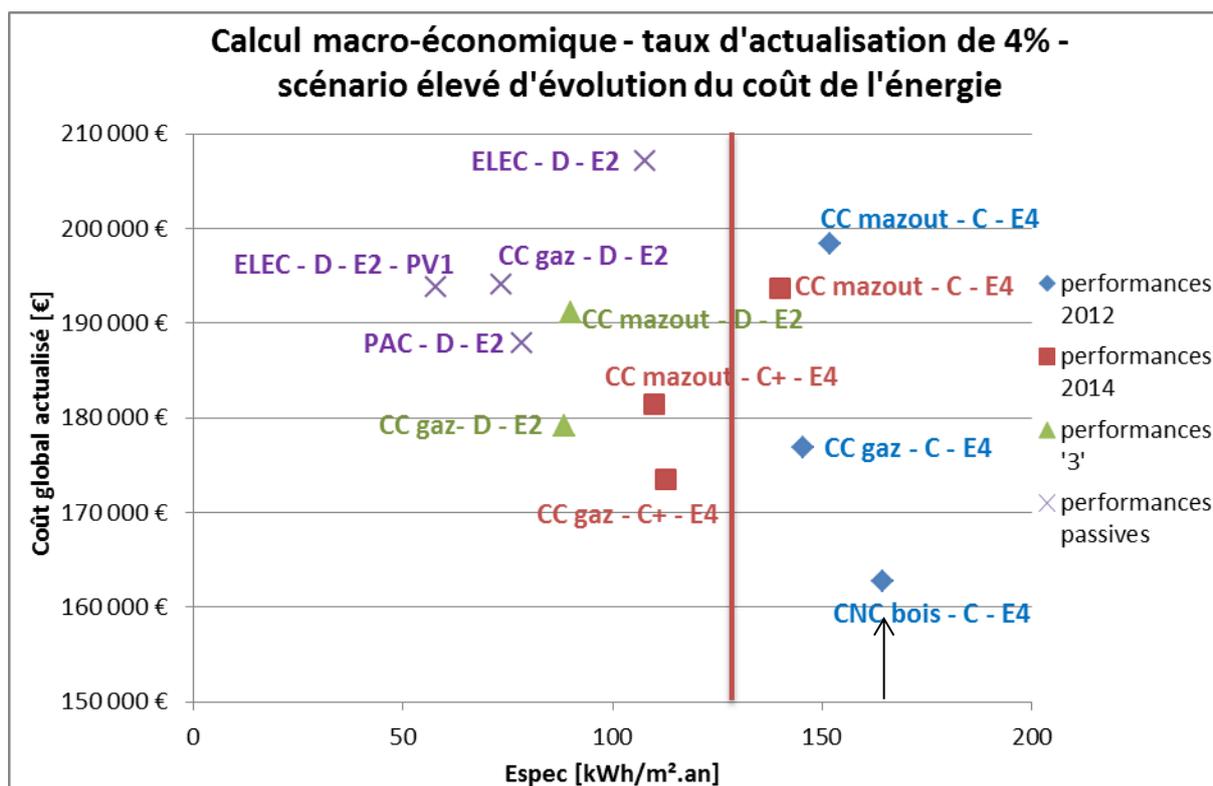


Figure 91 : coût global actualisé en fonction du Espec – résidentiel neuf GLOBAL

L'optimum est donc fonction du scénario d'évolution du coût de l'énergie choisi.

Le tableau 8, ci-dessous, reprend les valeurs des optima repérés sur les graphiques précédents. En jaune, le « premier optimum » et en gris le « second optimum », proche du coût du premier (tolérance d'environ 1% sur le coût global) mais avec un Espec nettement meilleur.

Le numéro, repris dans la première colonne du tableau 8, correspond au numéro de la variante étudiée.

N° de variante	Espec [kWh/m ² .an]	Ew	K	Macro-économique -coût faible [€]	Macro-économique -coût élevé [€]	Macro-économique -coût élevé [€]
2	145,51	85	44	158 177	166 056	176 826
3	164,48	95	45	167 414	174 698	162 688
5	112,59	65	37	158 932	165 070	173 460

Tableau 8 : valeurs et coûts obtenus pour 3 variantes « optimum », calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%

8. Conclusions

Le coût optimum n'est pas toujours facilement observable et varie selon l'évolution du coût de l'énergie (faible 0%, moyen 1,75% ou élevé 3,5%).

L'étude des différents scénarii d'évolution du coût de l'énergie permet de dire, pour toutes les habitations étudiées, que lorsque le coût de l'énergie augmente fortement, il est intéressant d'isoler son habitation de manière passive. Tandis que pour un scénario d'évolution faible du coût de l'énergie, une isolation de type « 2014 » (couplée à des systèmes performants) est souvent suffisante.

Pour les hypothèses retenues, à savoir le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4%, un scénario moyen d'évolution du coût de l'énergie, de manière globale, les exigences qui seront imposées au 1^{er} janvier 2014 permettent d'obtenir un coût global actualisé optimum. Les exigences actuelles « 2012 » ne sont pas assez strictes mais on évolue progressivement, depuis la mise en place de la réglementation sur la performance énergétique des bâtiments, vers des exigences plus sévères. Les investissements nécessaires, plus importants en 2014 qu'en 2012 seront rapidement rentabilisés.

Pour les systèmes placés dans les habitations, il est intéressant actuellement de mettre en œuvre des technologies qui sont matures (comme par exemple des chaudières gaz à condensation) et donc moins chères à l'investissement. Par l'étude du calcul macro-économique, nous avons également vu l'avantage des chaudières biomasse qui rejettent peu de CO₂ et qui sont donc d'un point de vue environnemental très judicieuses. Néanmoins les chaudières biomasse sont fortement pénalisées dans le calcul PEB et mènent parfois à des conclusions qui pourraient s'avérer dangereuses, à savoir une diminution du niveau d'exigence Espec .

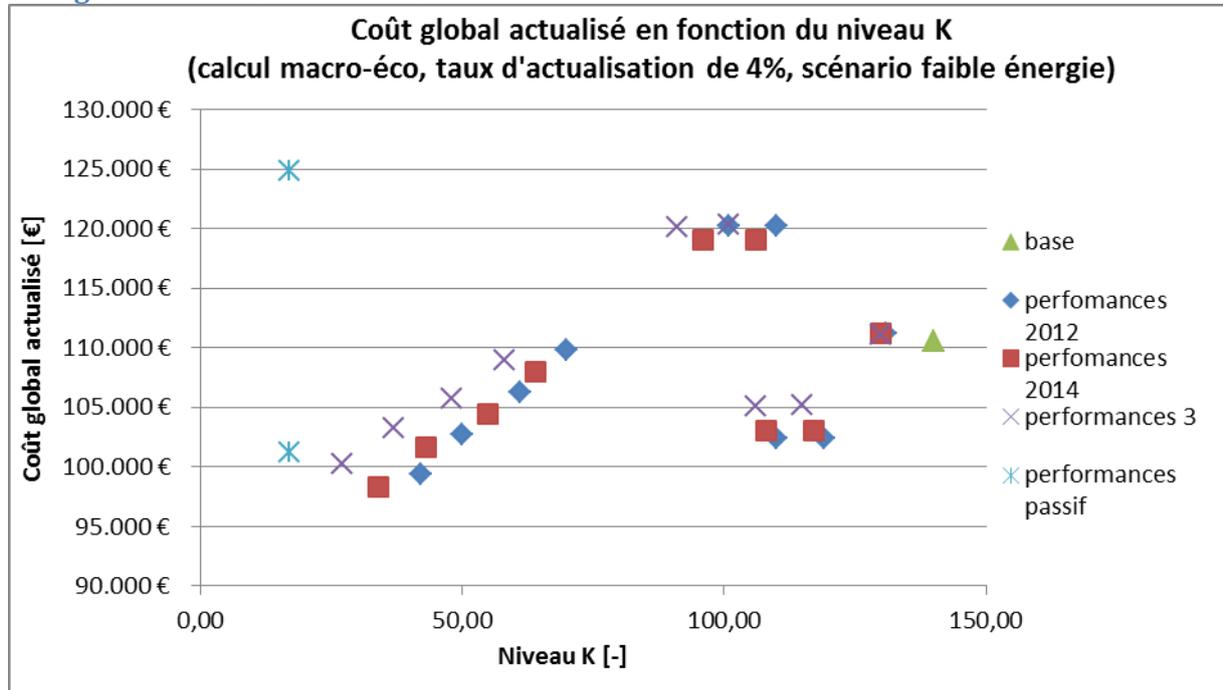
Lorsque le coût de l'énergie augmente fortement, il est d'une part intéressant d'isoler sa maison de manière très poussée (passif) mais également de recourir à des énergies renouvelables telles que des panneaux photovoltaïques mais également à la biomasse.

De manière globale, les variations observées sur le coût global actualisé sont faibles (souvent quelques pourcents – pratiquement toujours moins de 10%), ce qui signifie qu'un surinvestissement au départ se retrouvera toujours rentabilisé sur les 30 ans considérés dans l'étude. Il est donc souvent difficile de pouvoir observer un optimum très net.

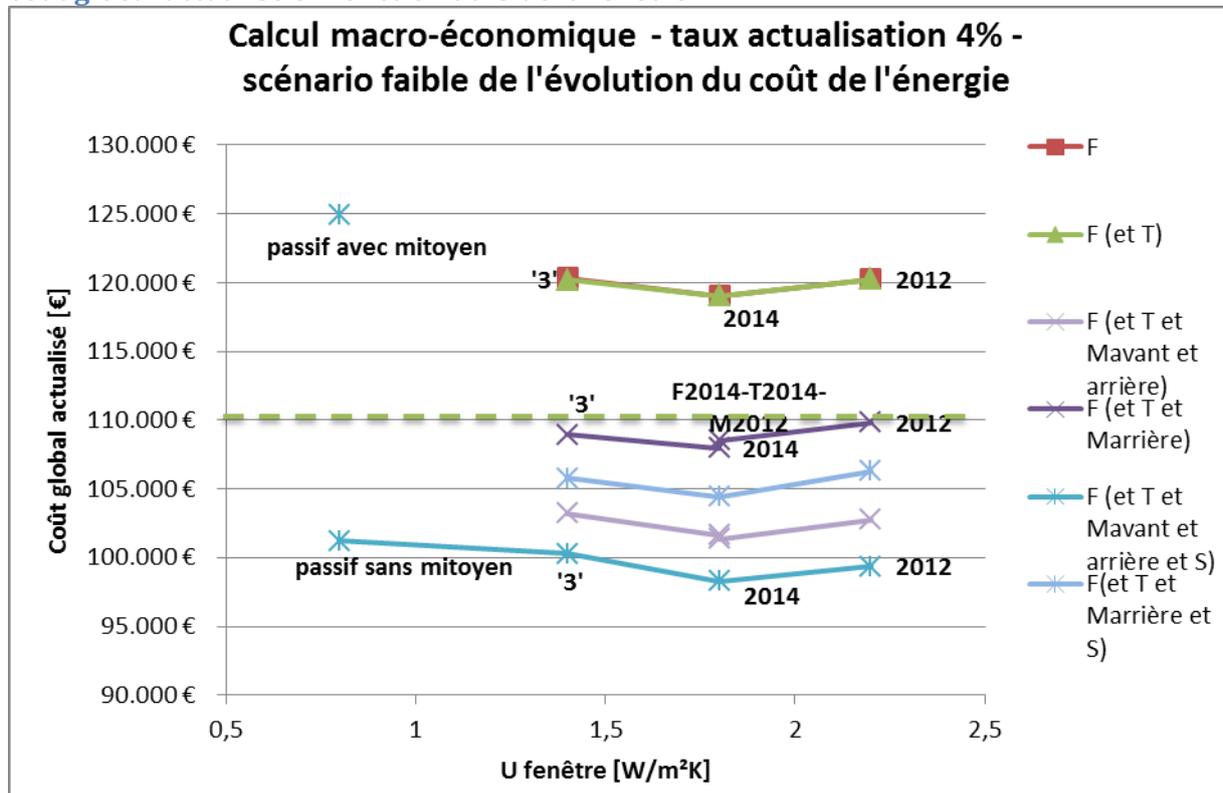
9. ANNEXES

Graphiques supplémentaires ME1

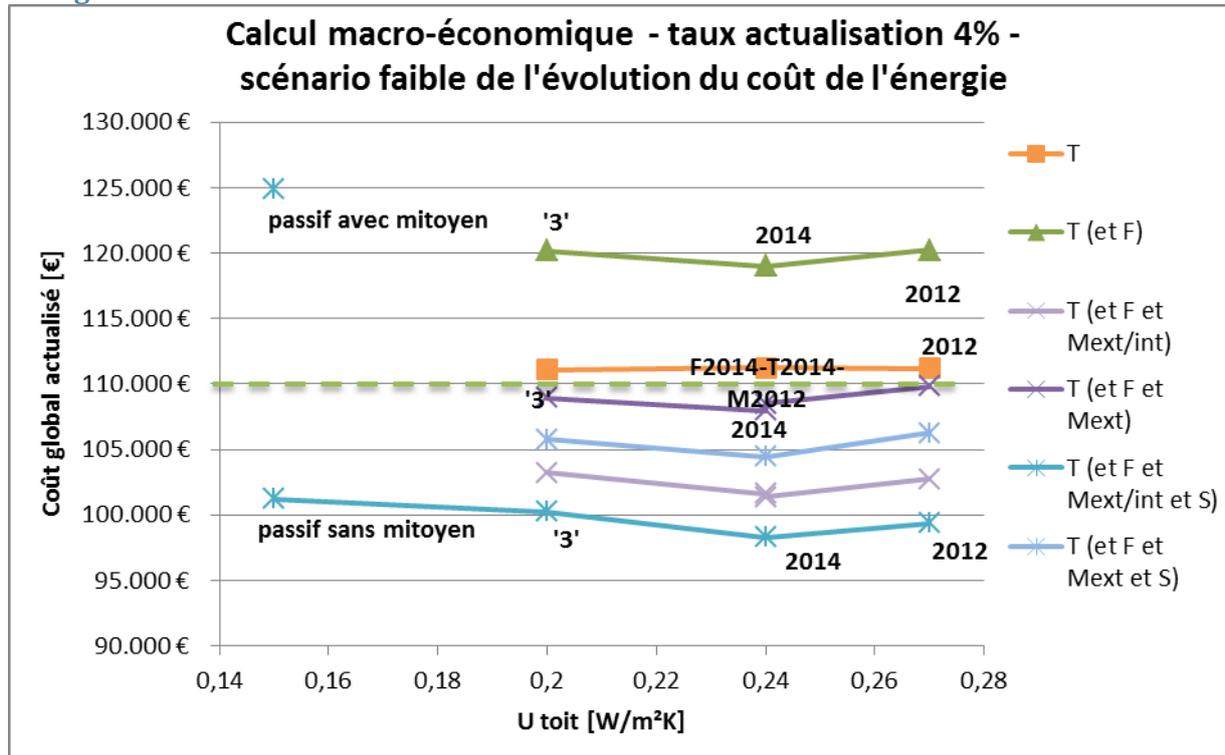
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



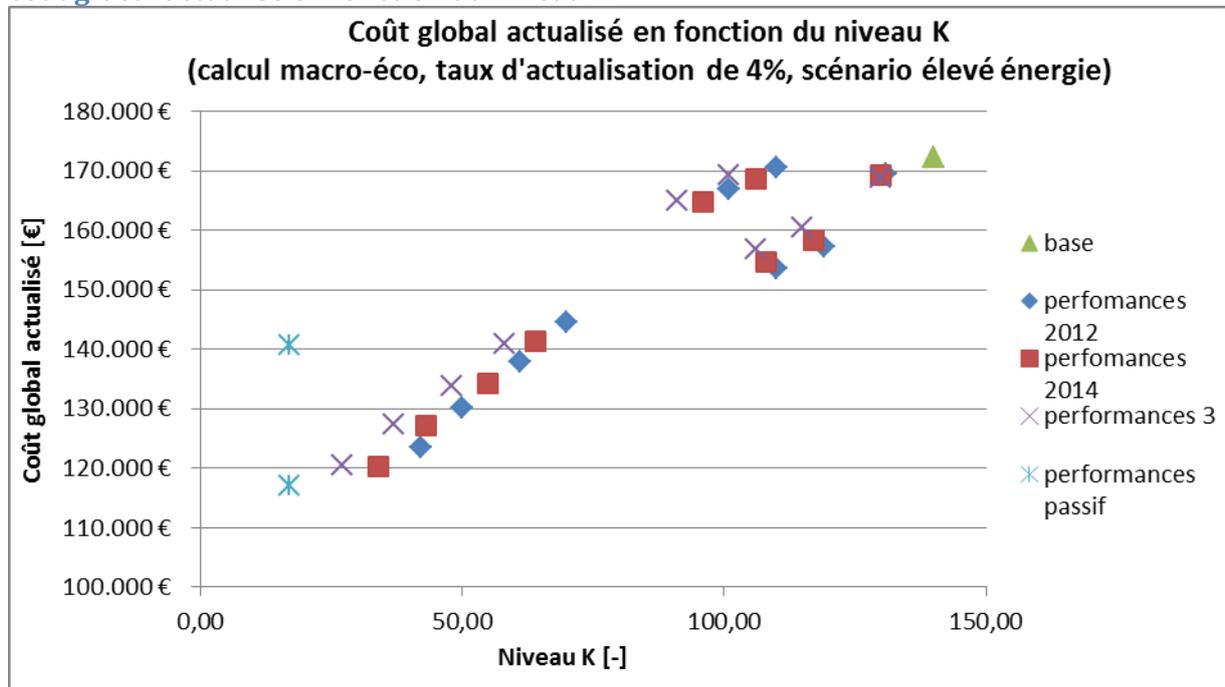
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



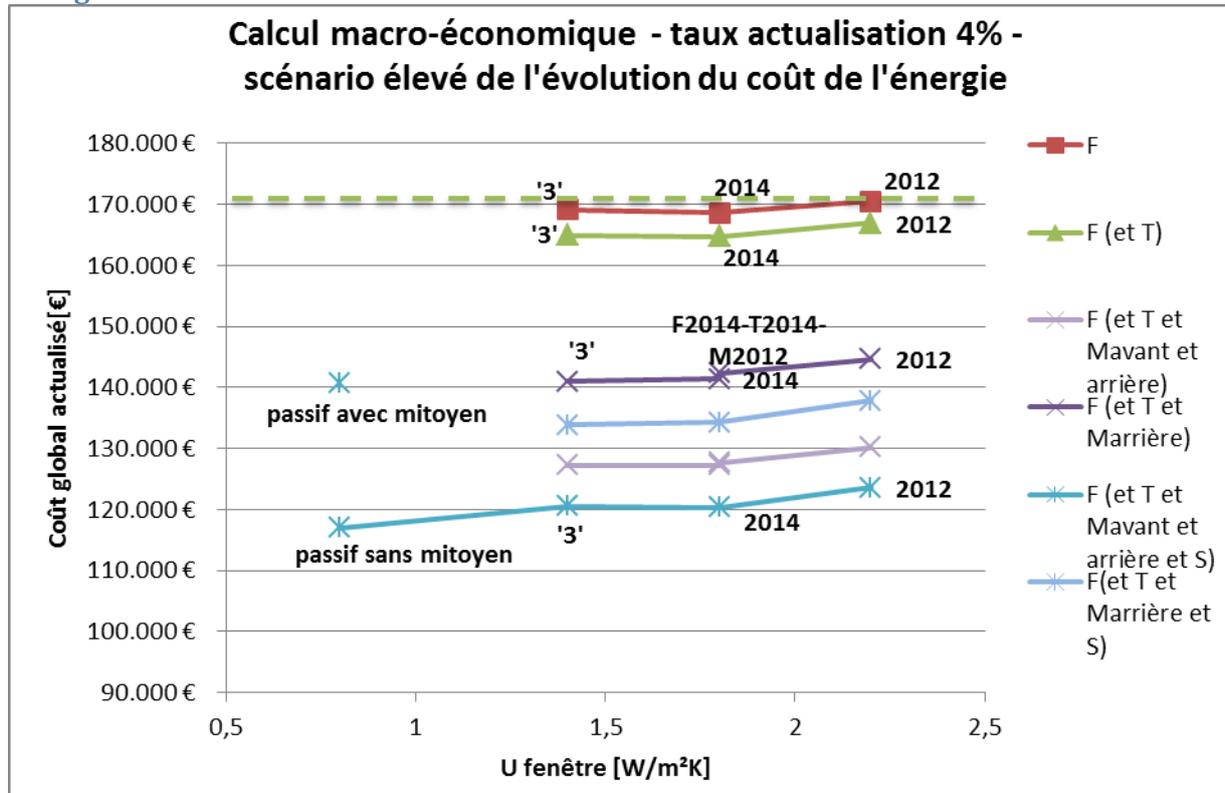
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



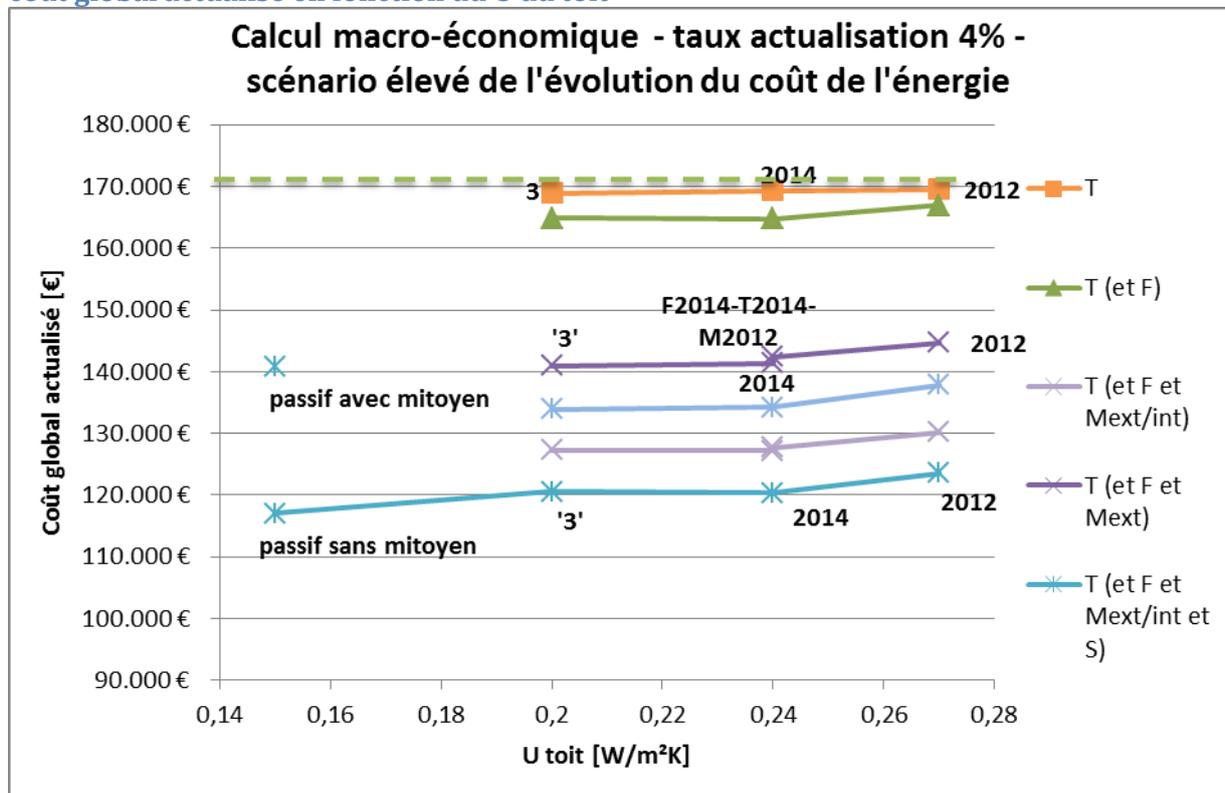
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



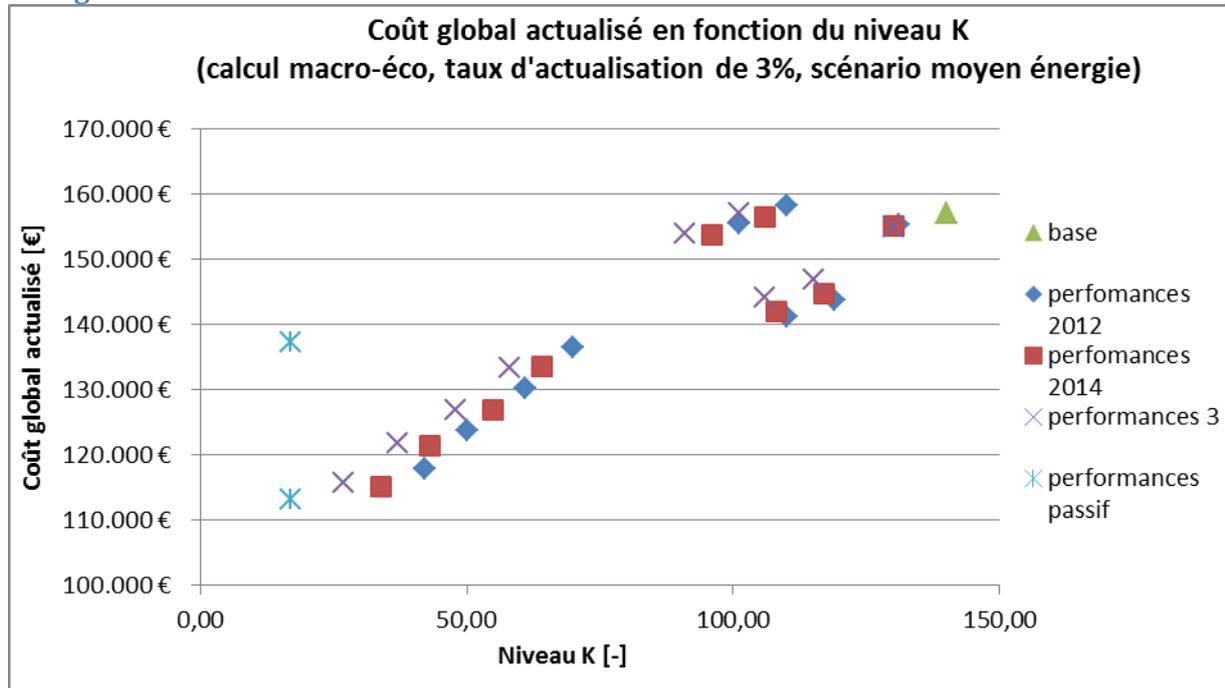
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



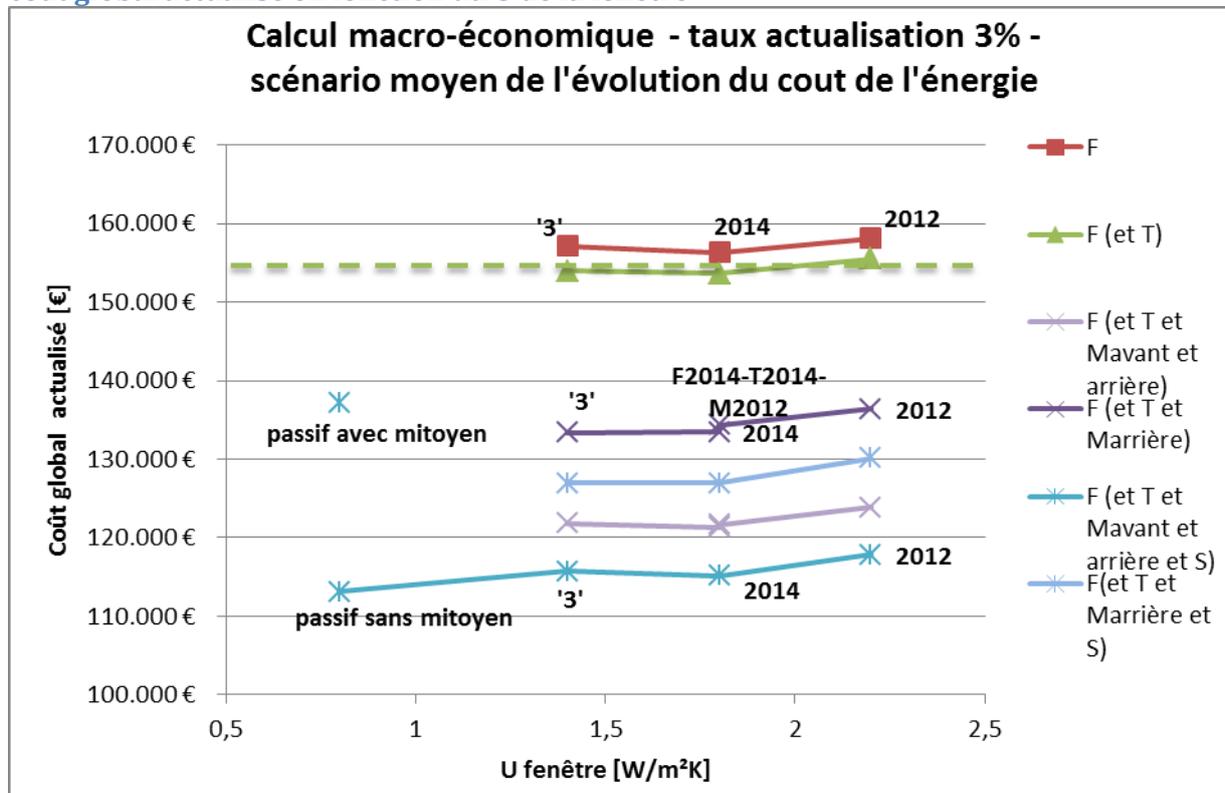
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



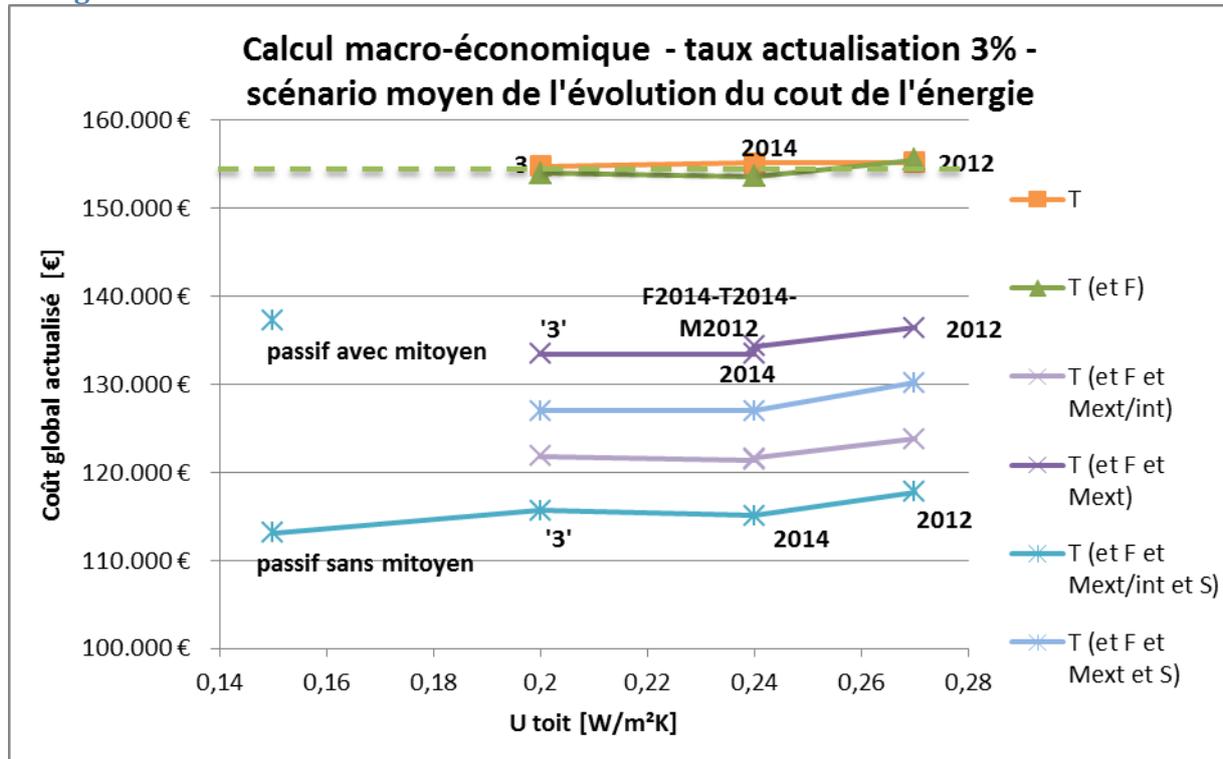
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



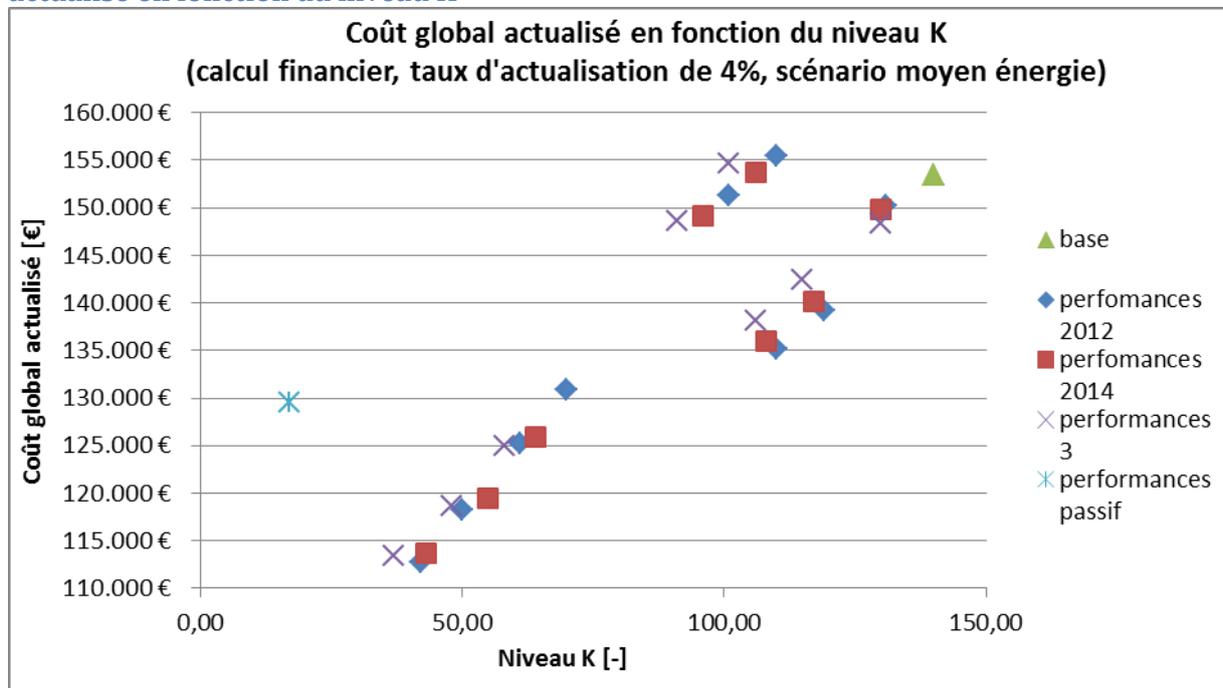
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



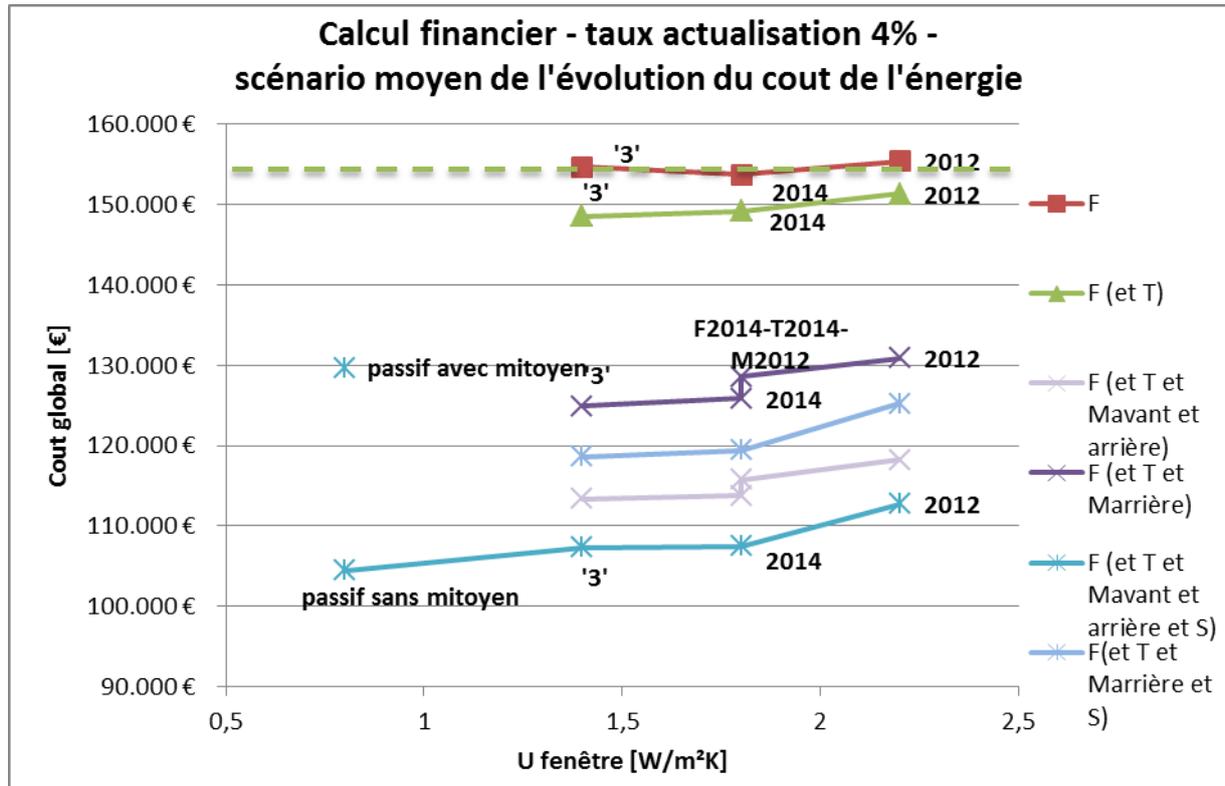
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



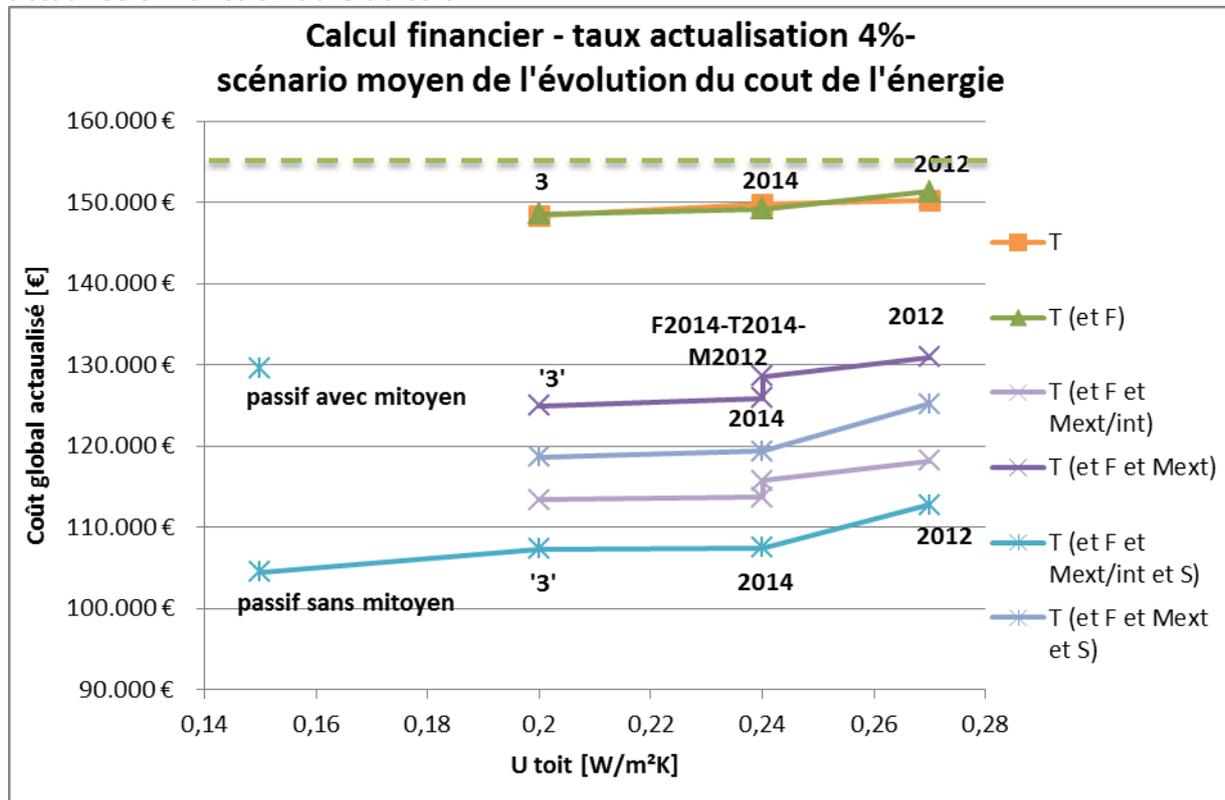
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



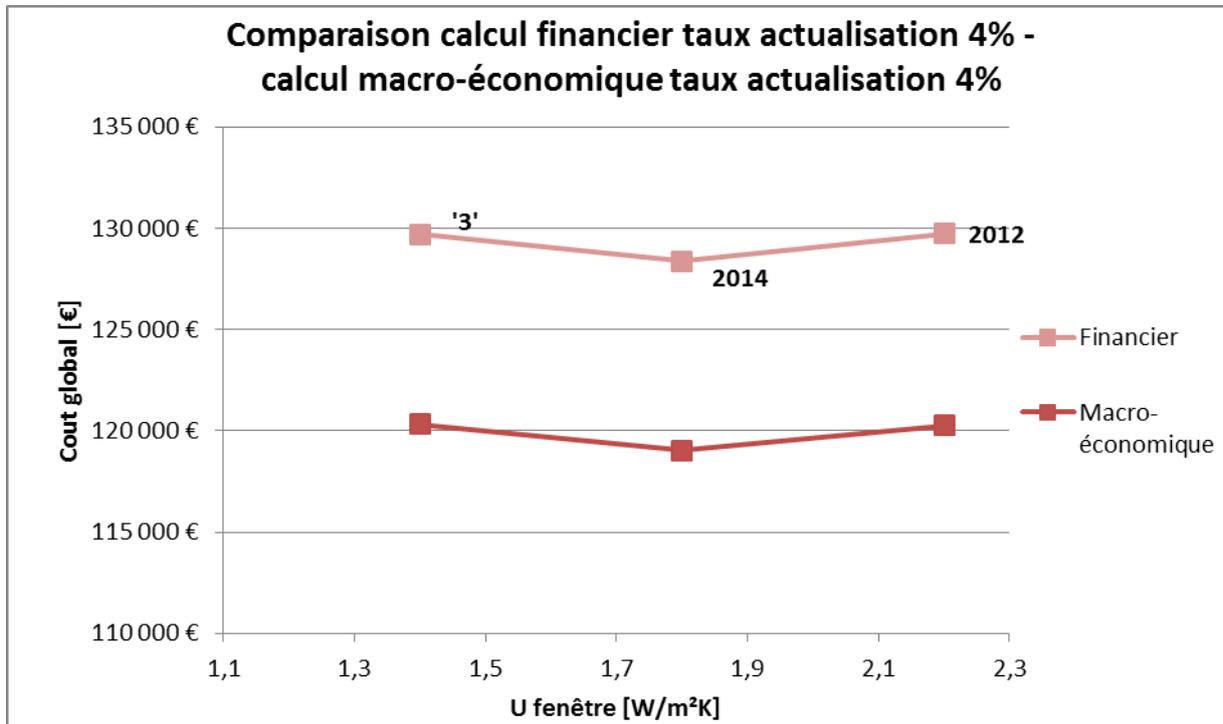
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



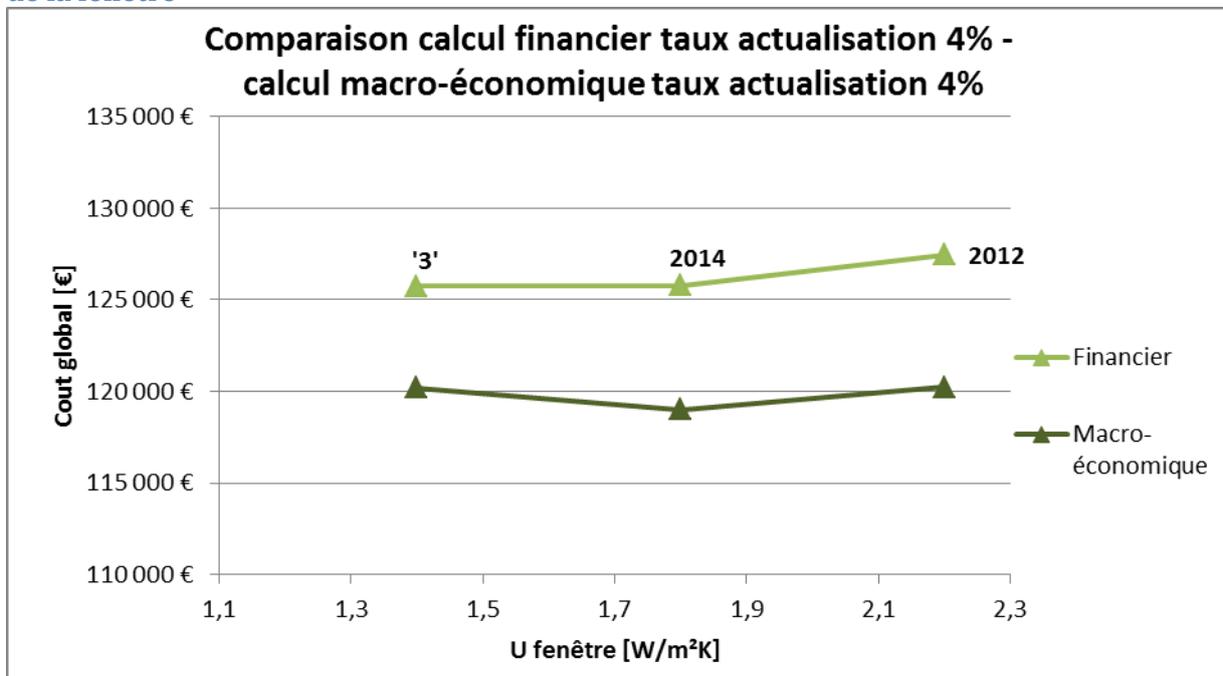
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit



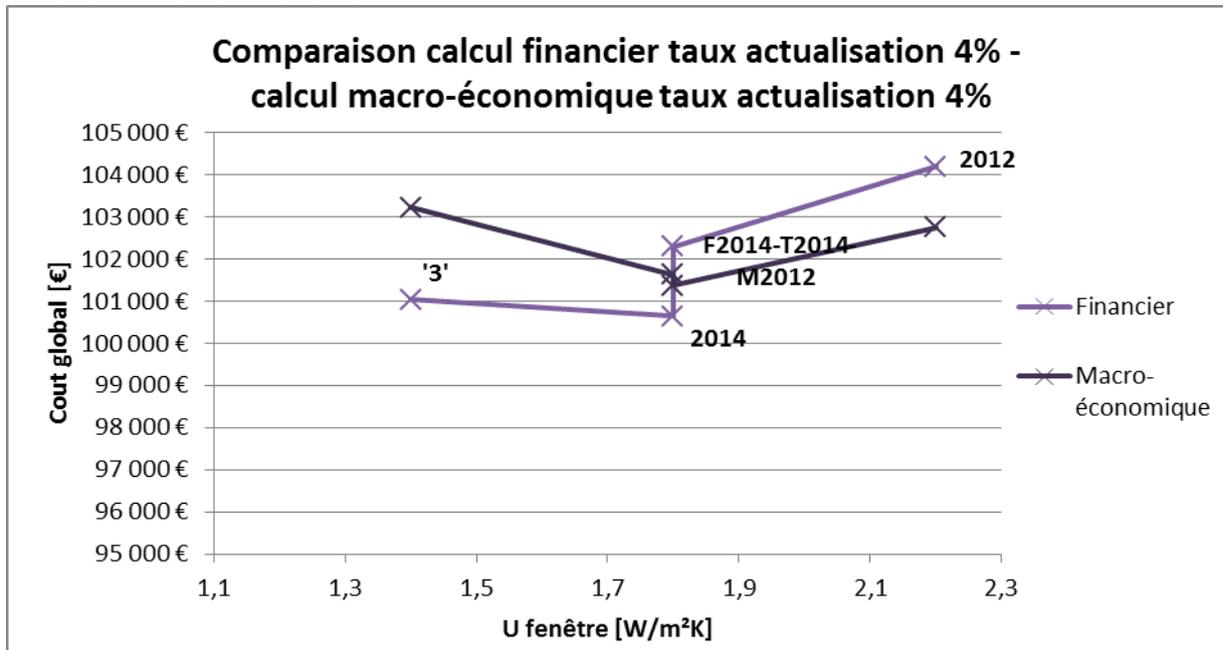
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie (fenêtres seules) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie (fenêtres+toit) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre

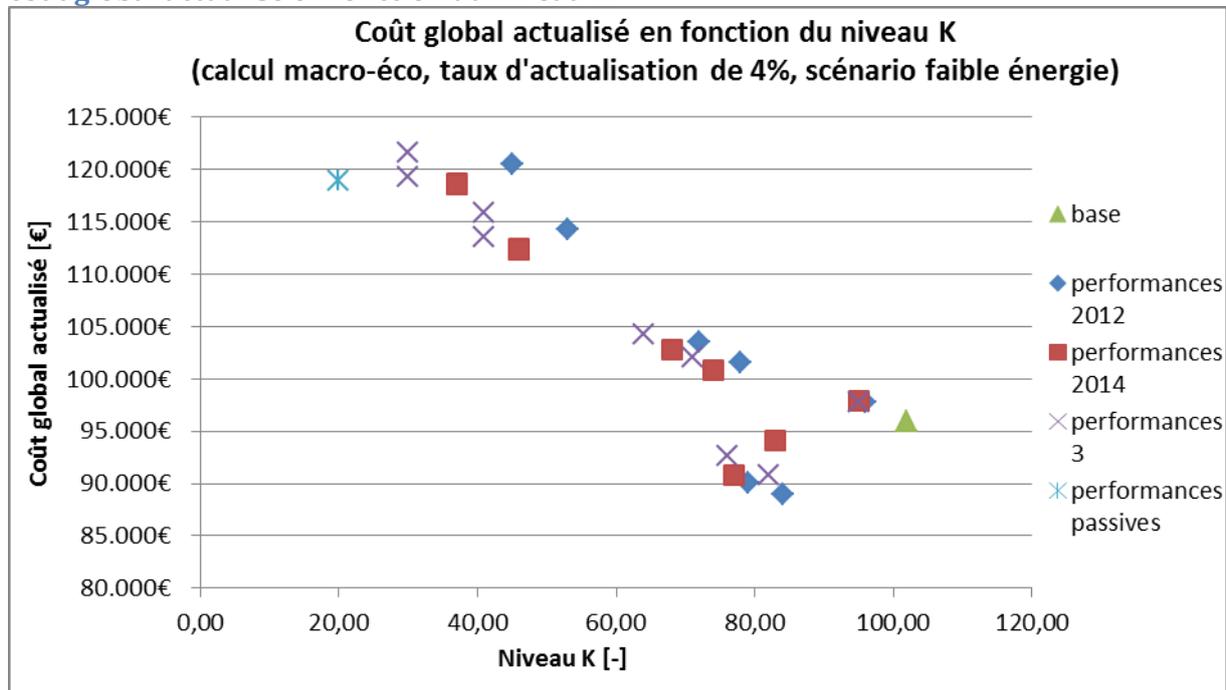


Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie (fenêtres+toit+murs) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre

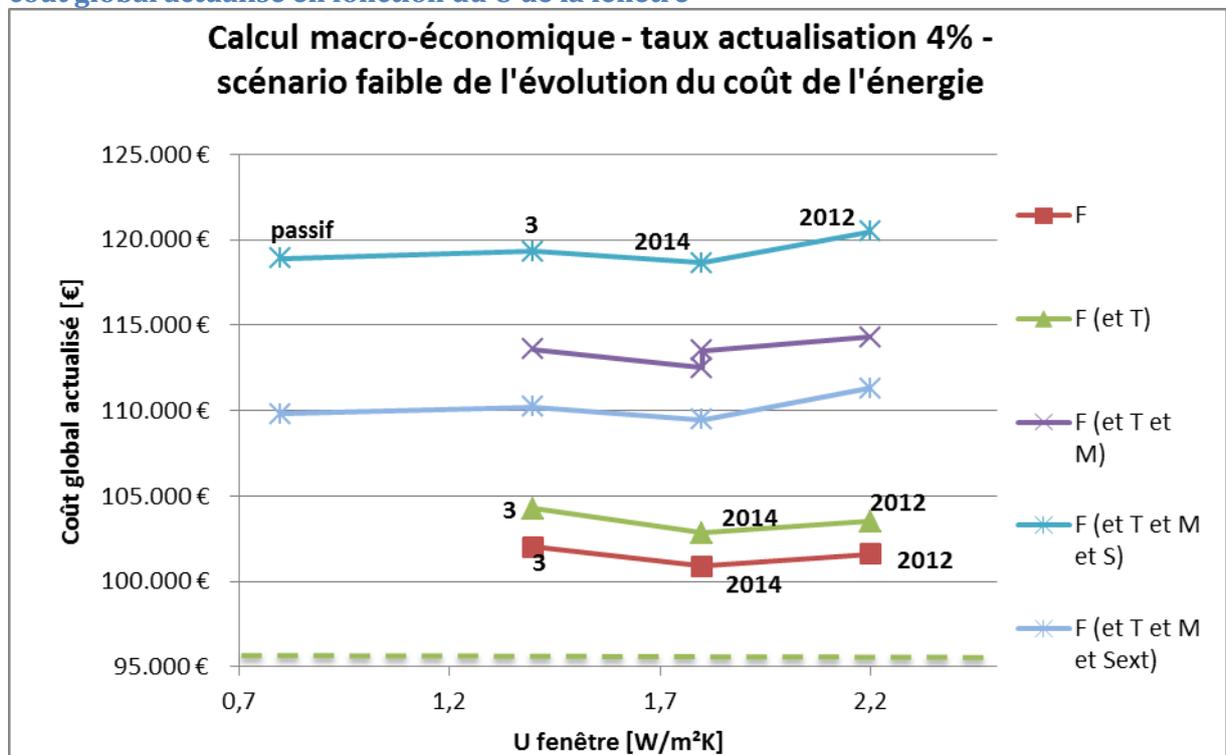


Graphiques supplémentaires ME2

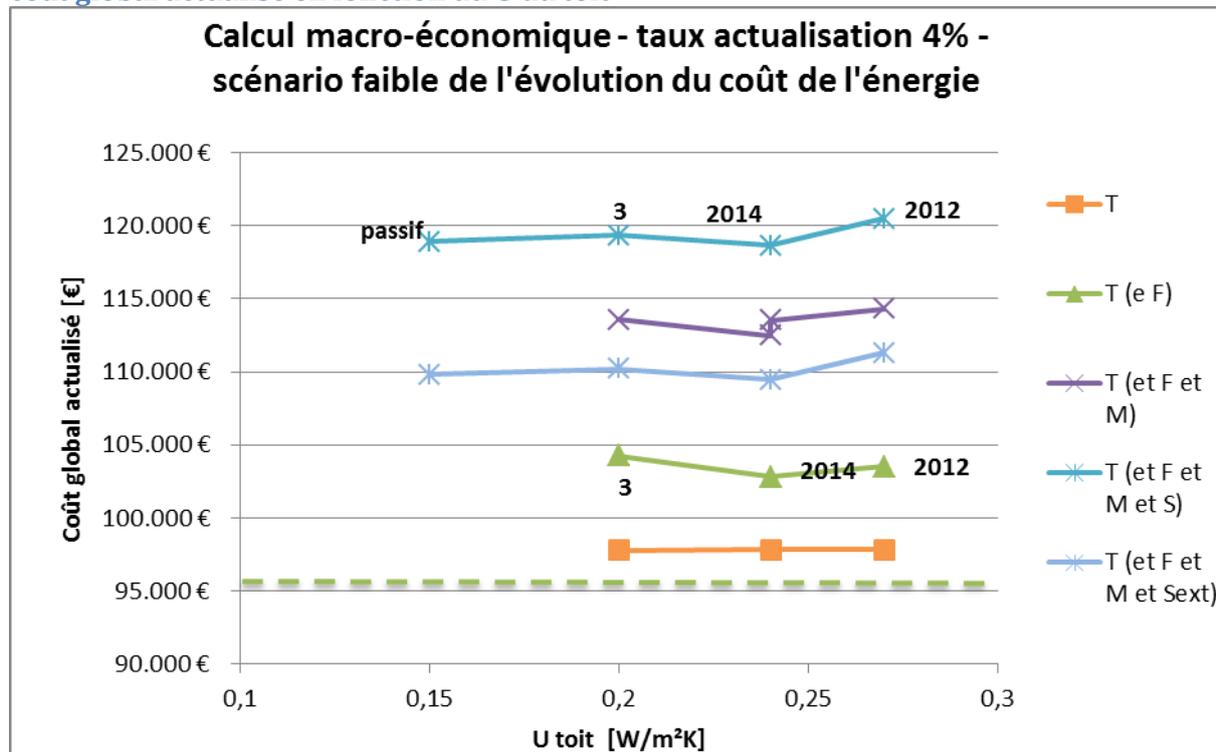
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



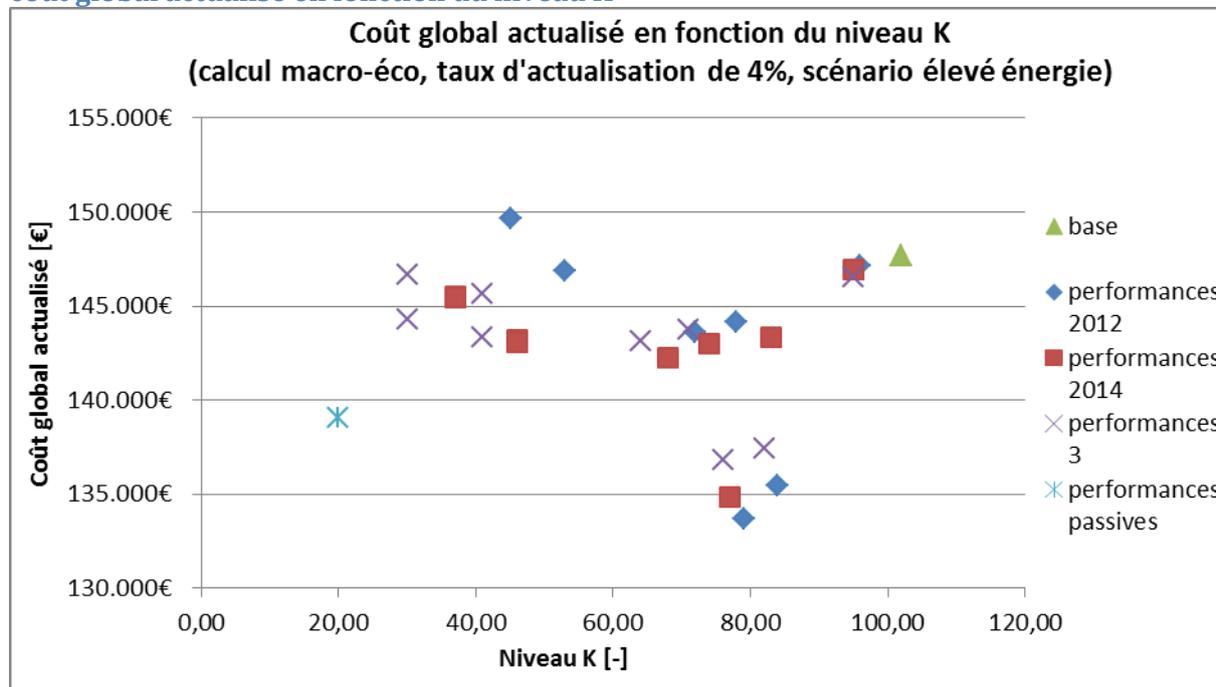
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



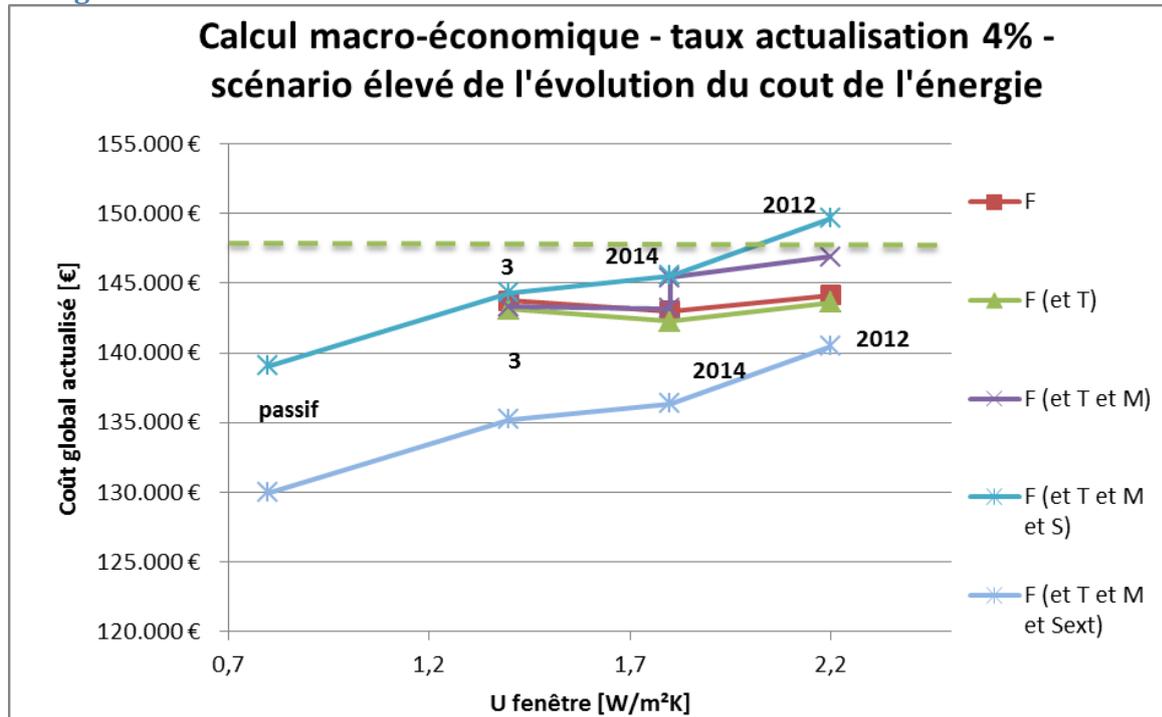
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



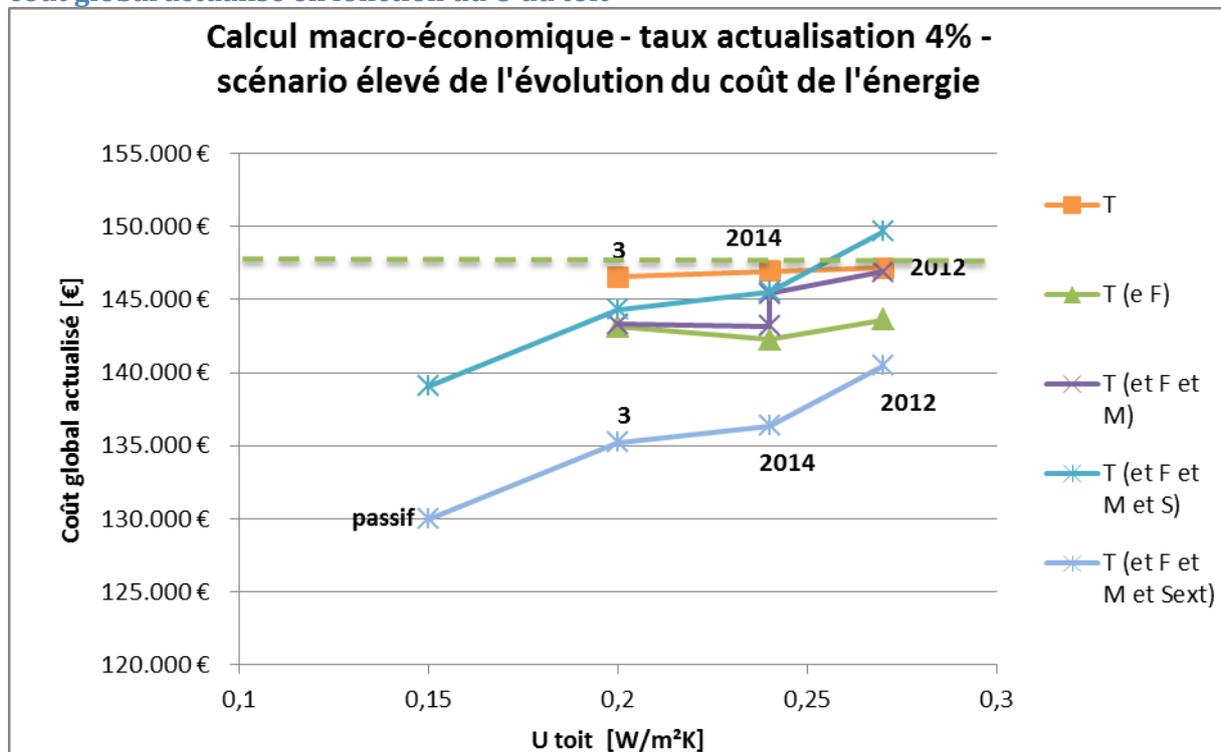
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



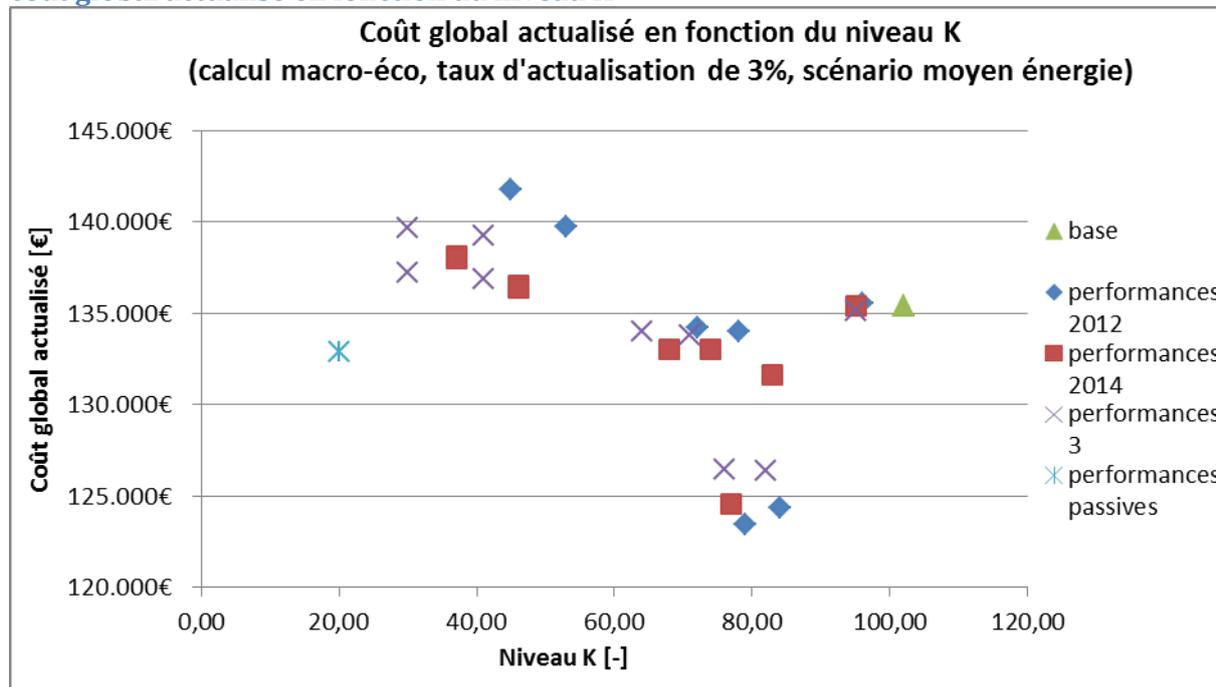
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



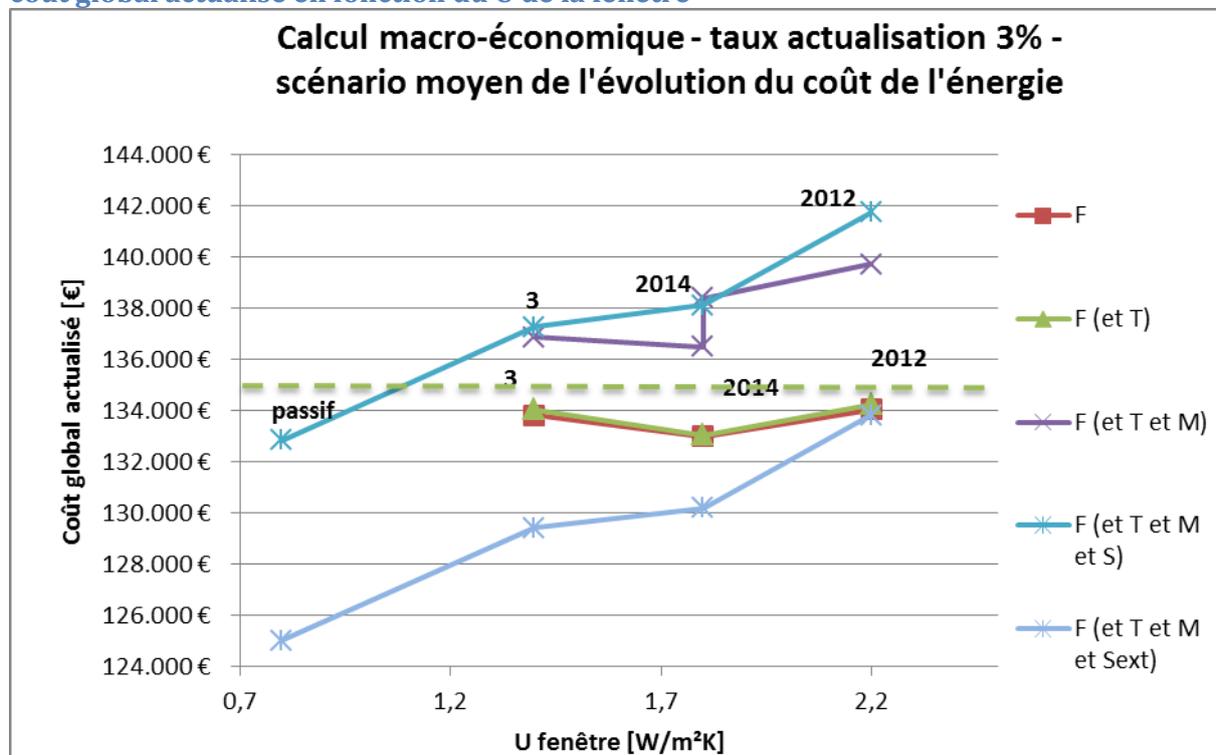
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



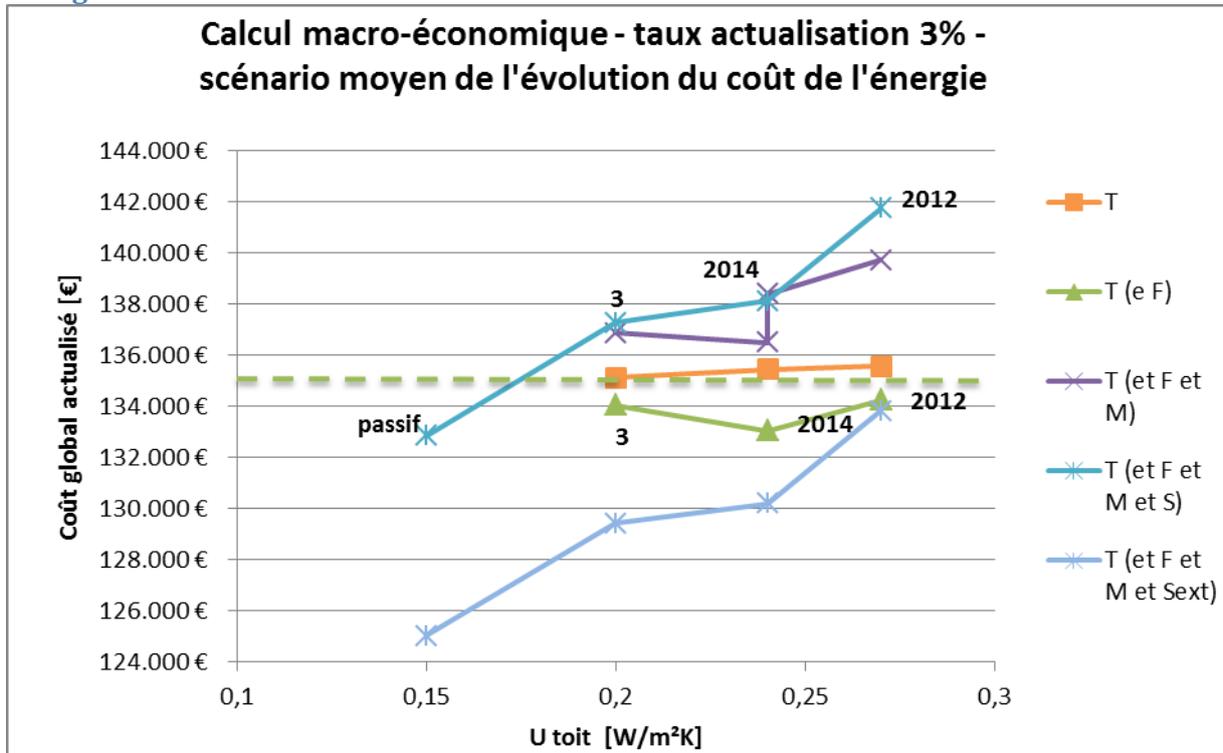
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



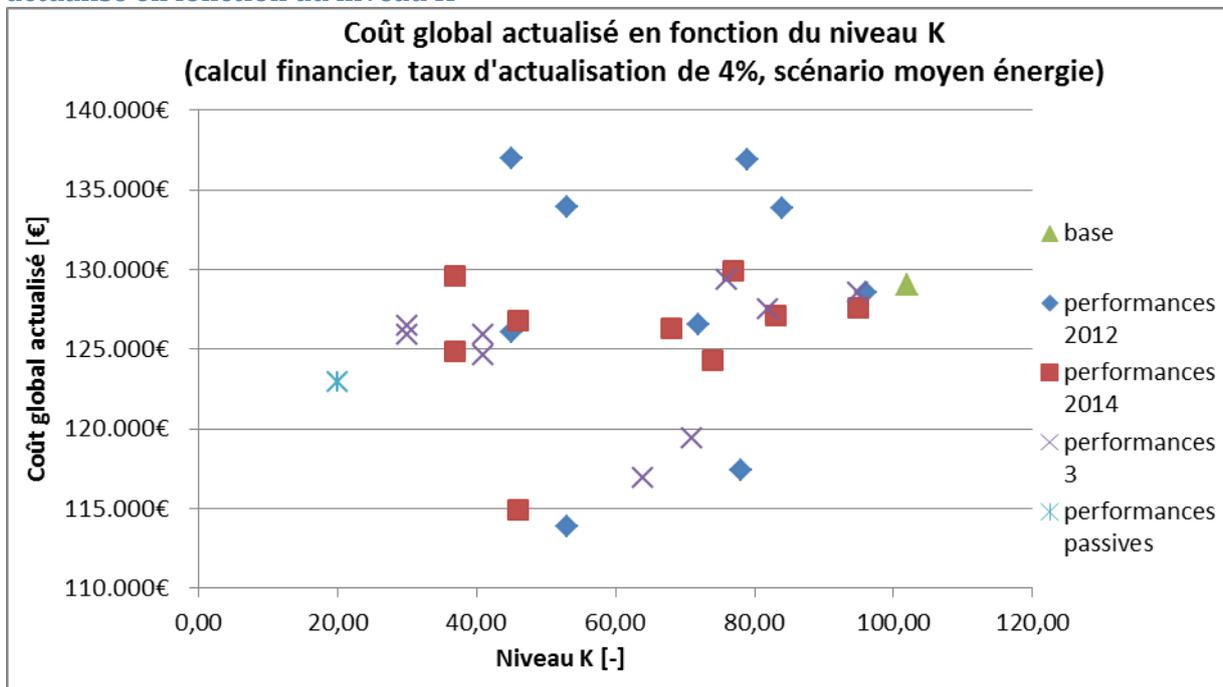
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



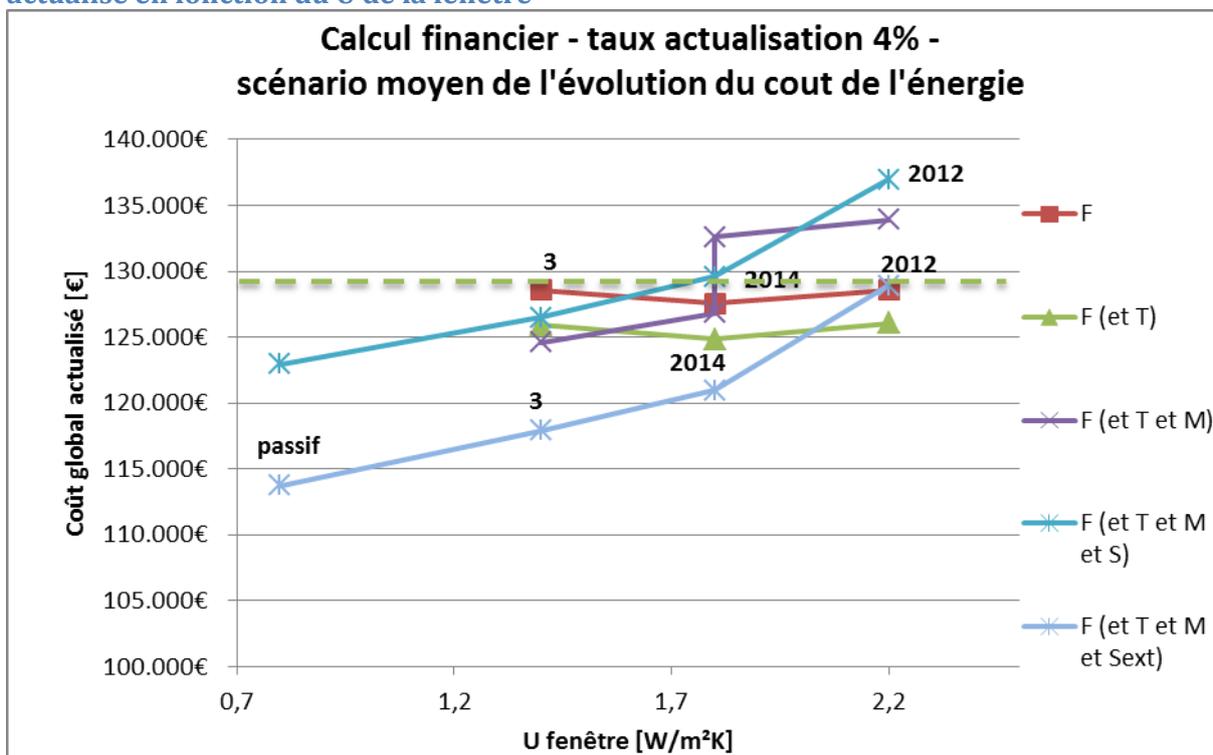
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



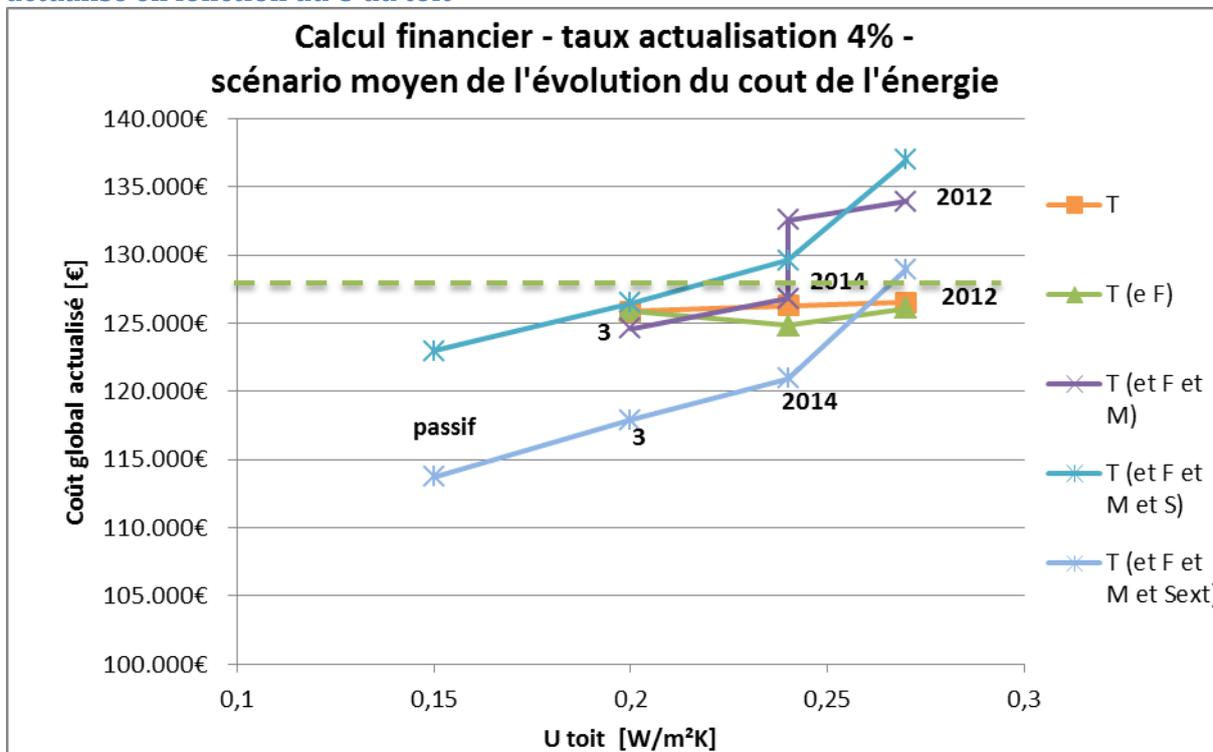
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre

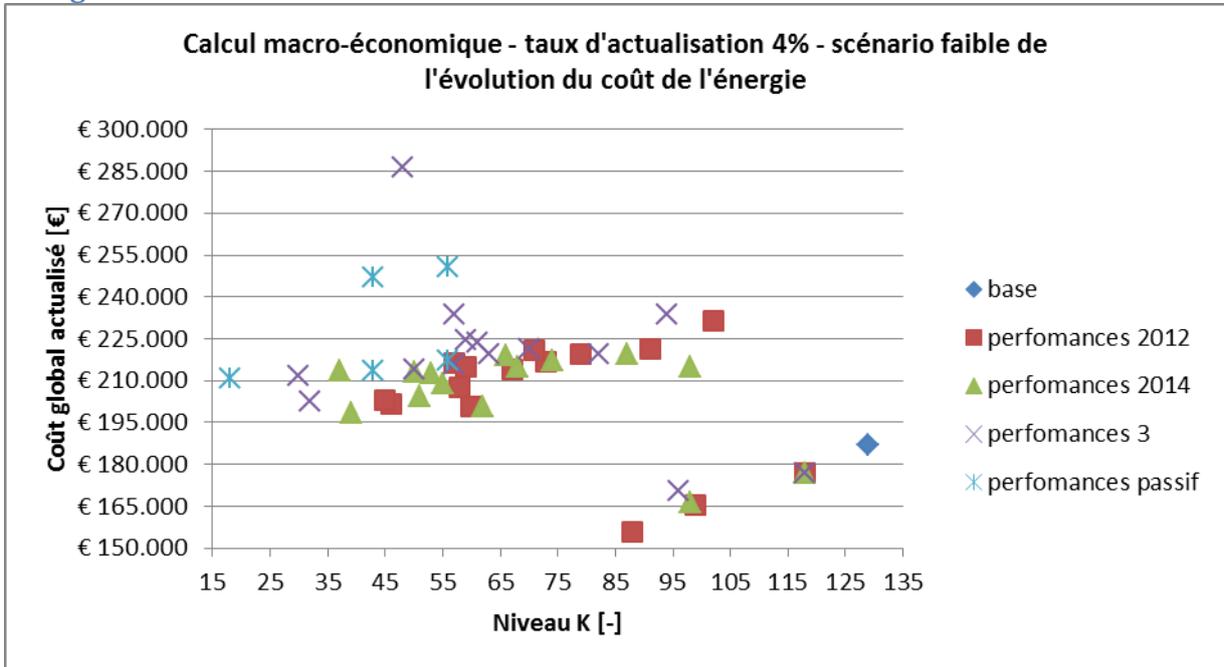


Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit

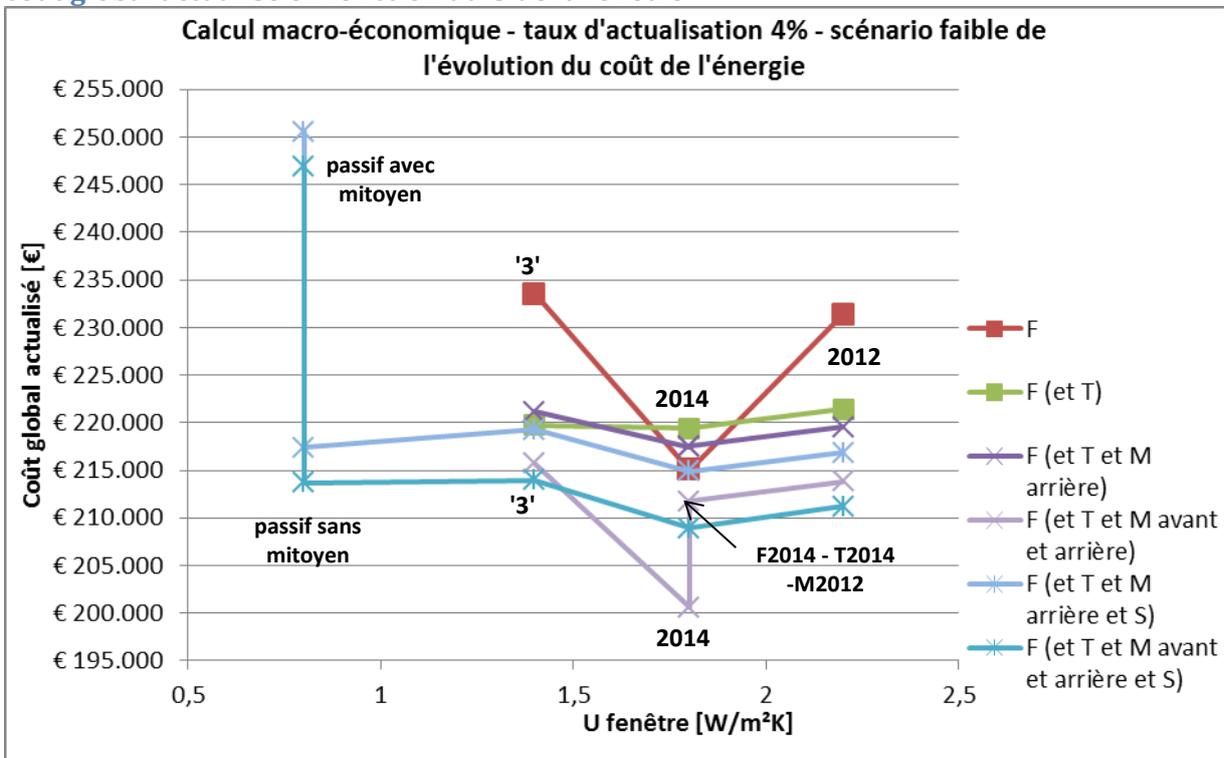


Graphiques supplémentaires AE1

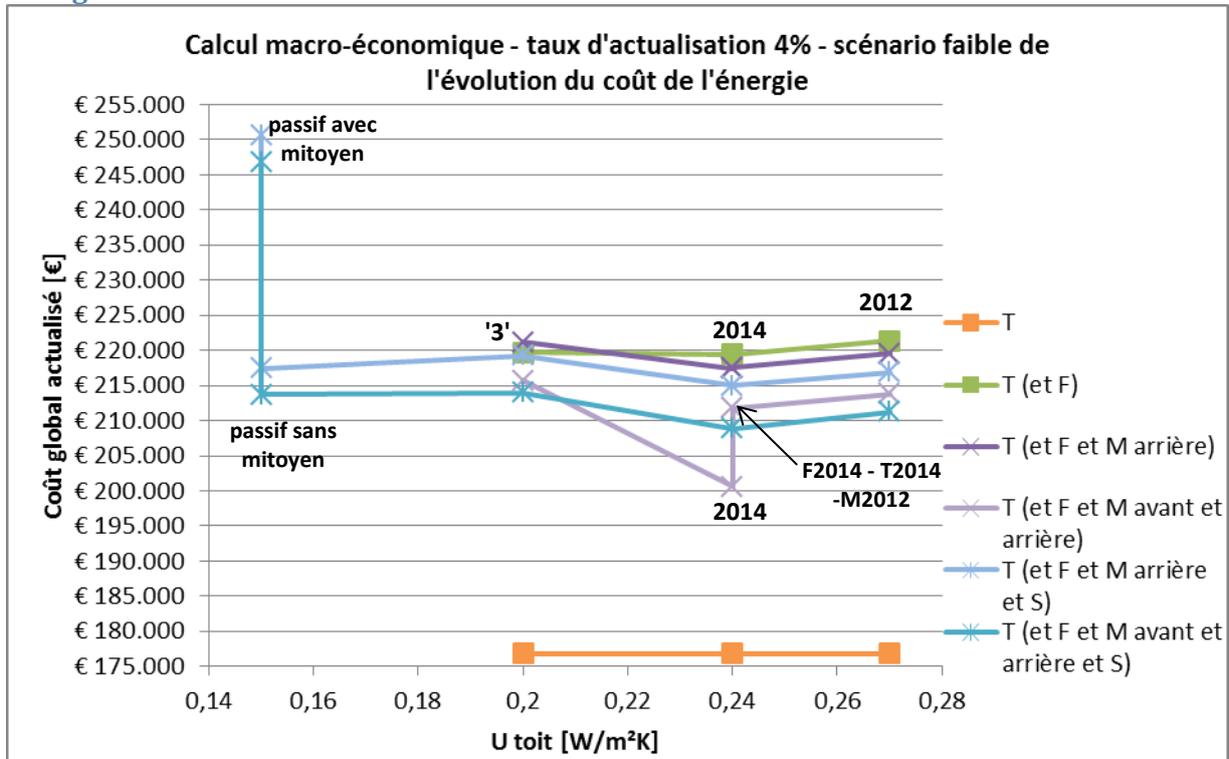
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



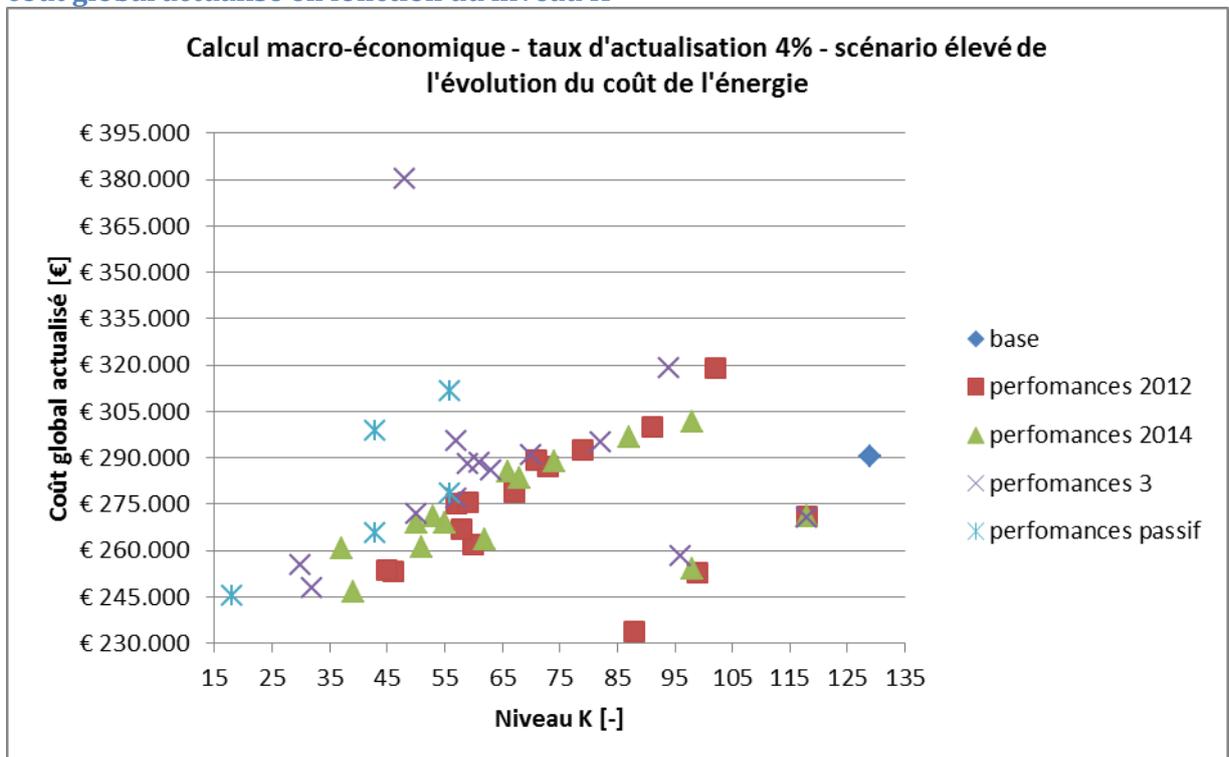
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



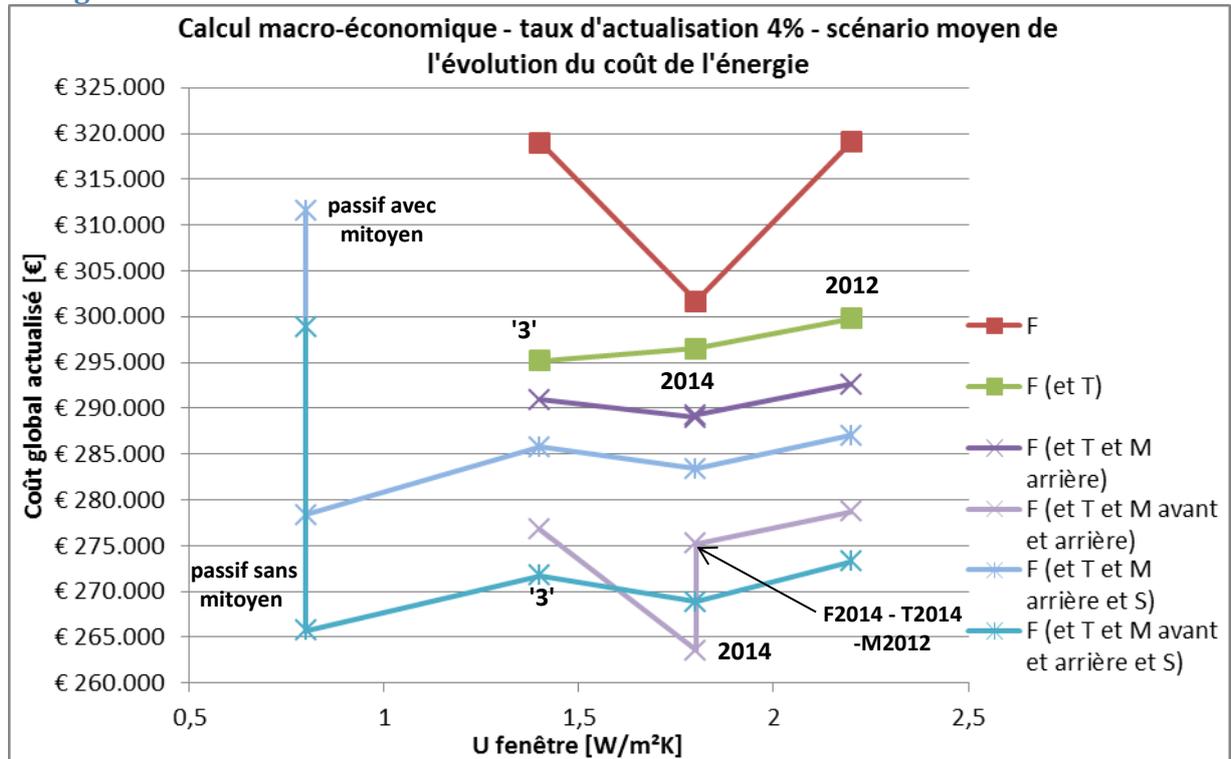
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



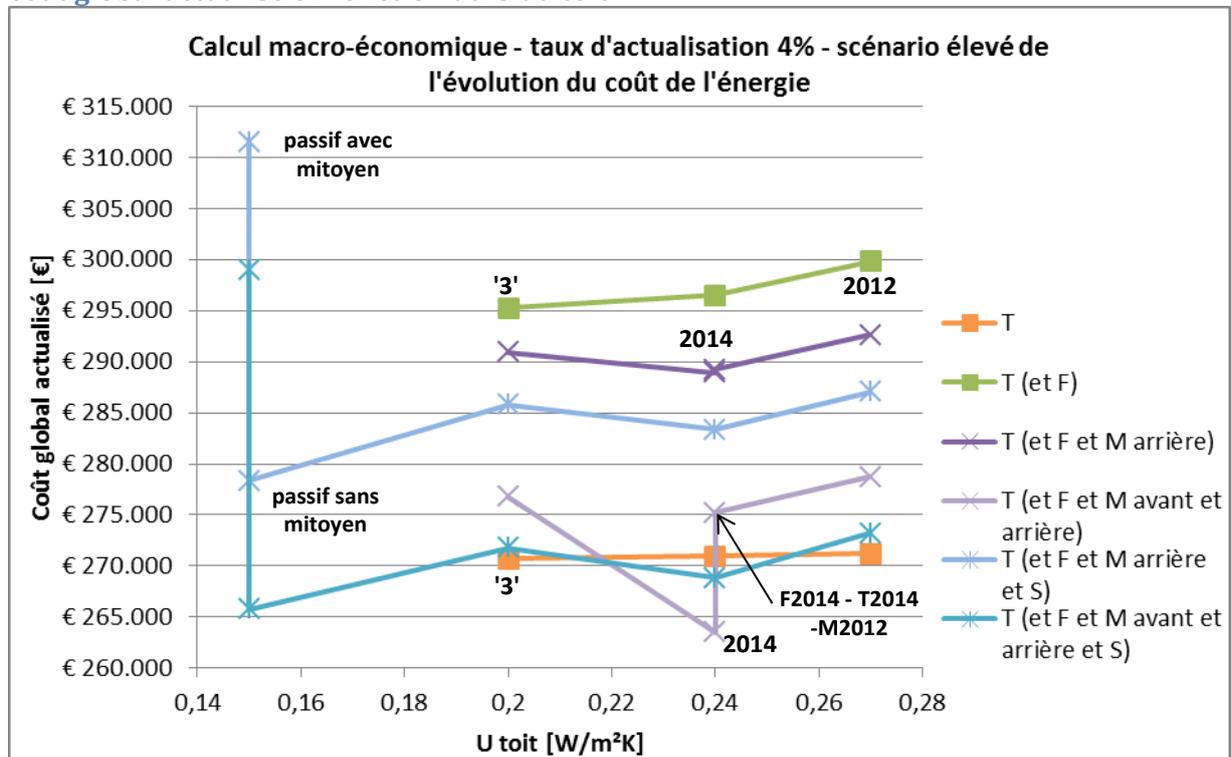
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



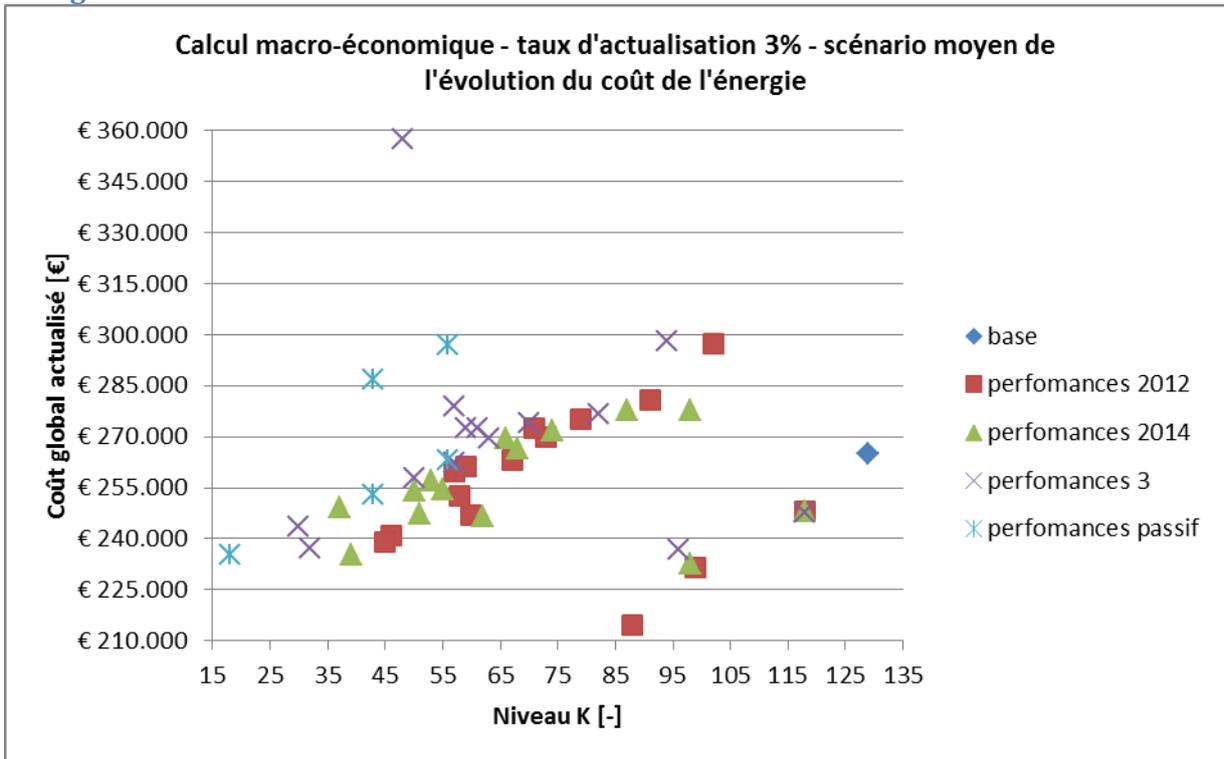
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



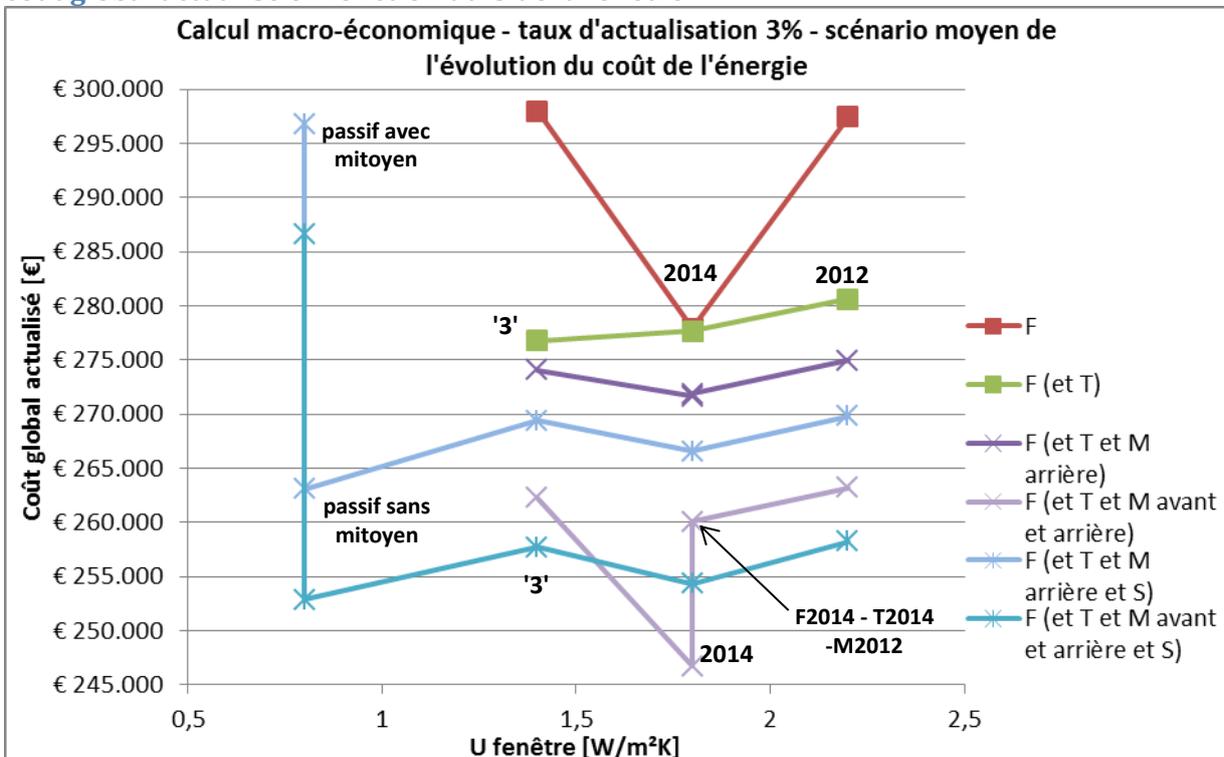
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



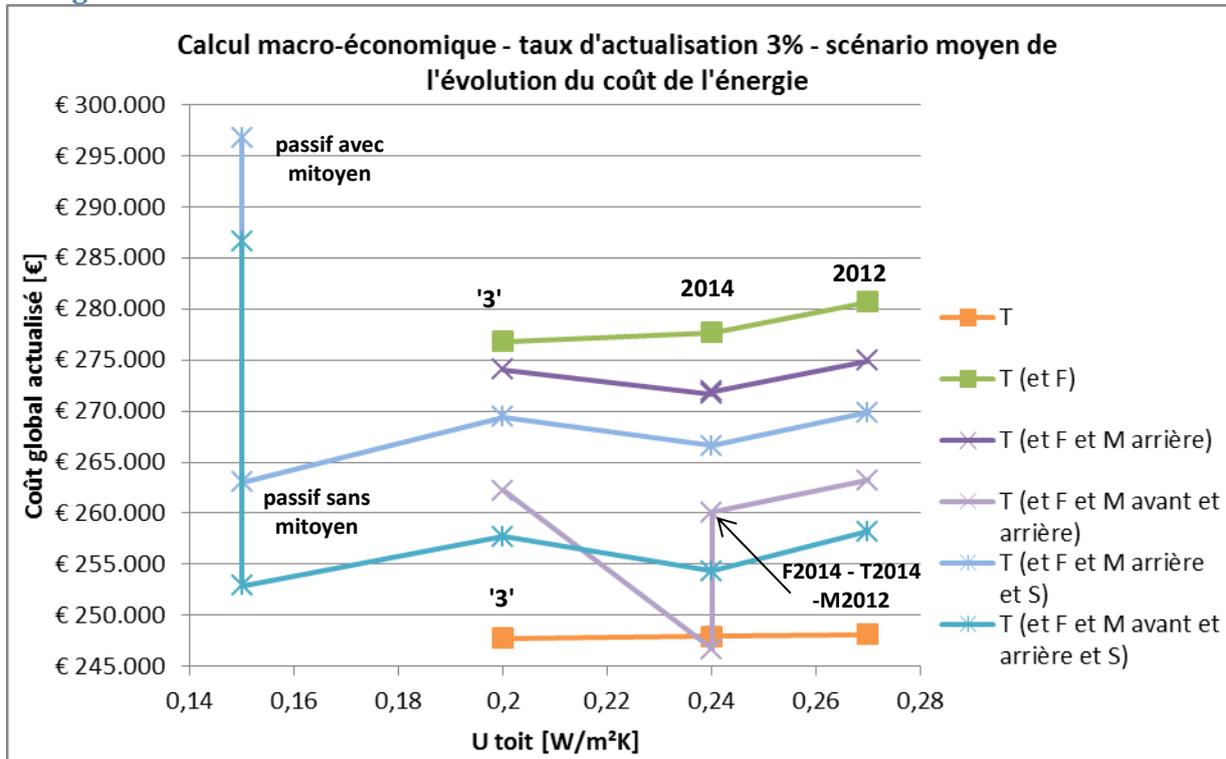
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



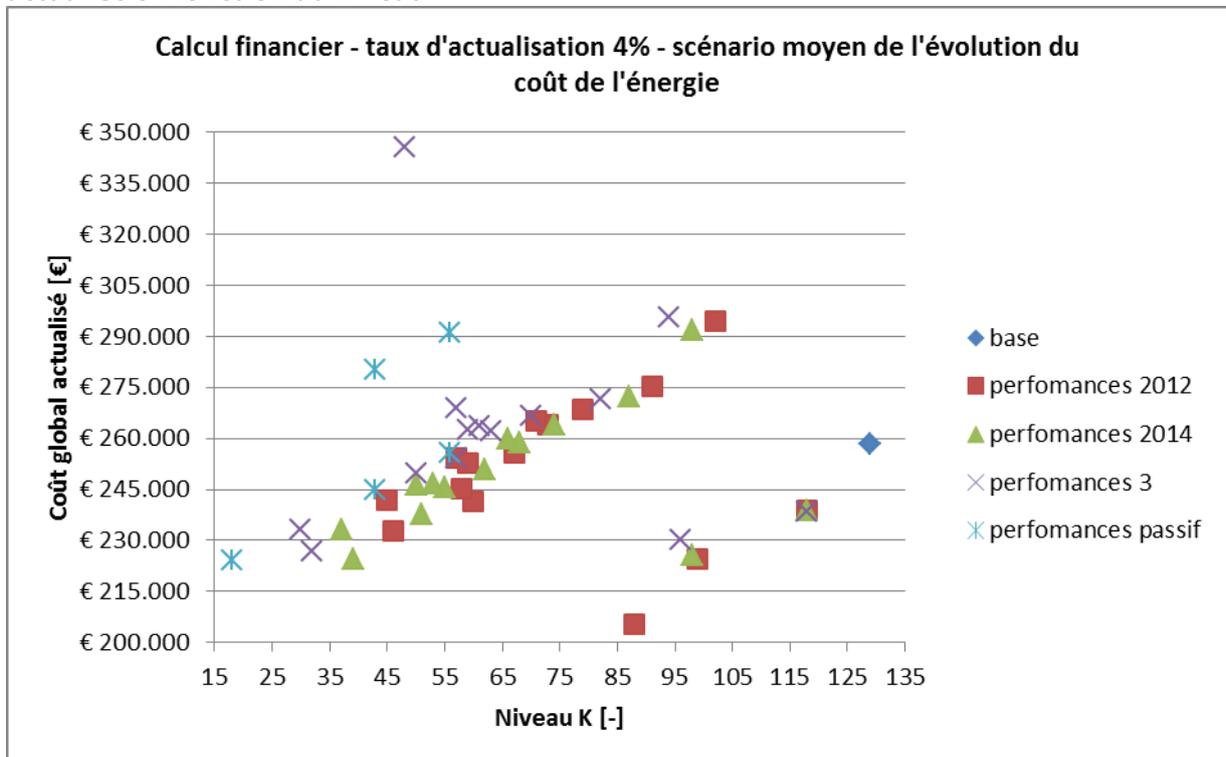
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



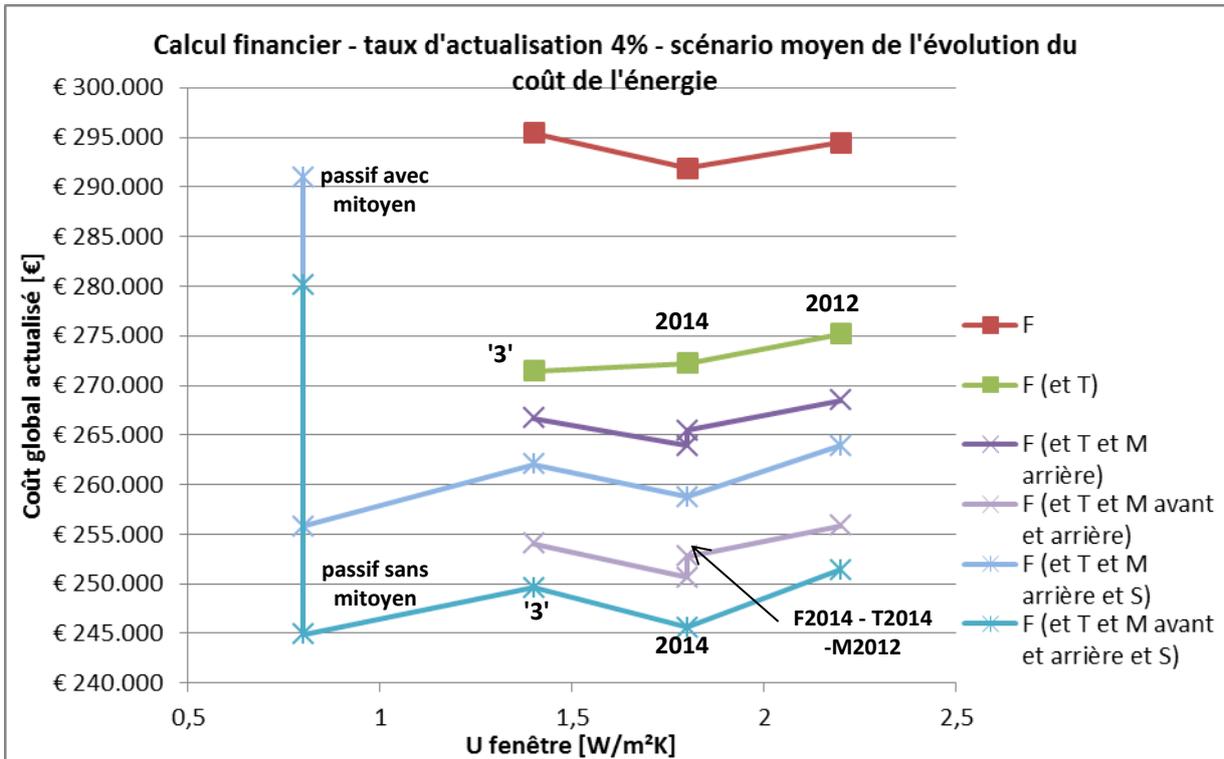
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



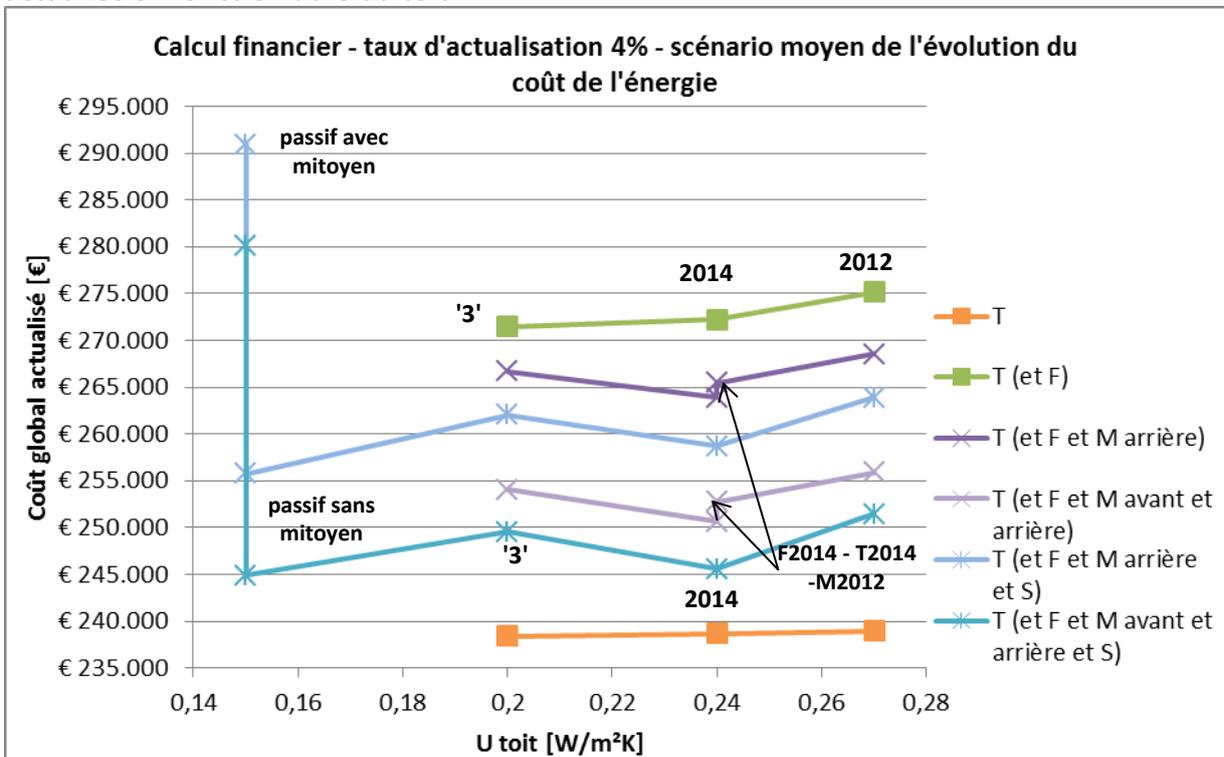
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



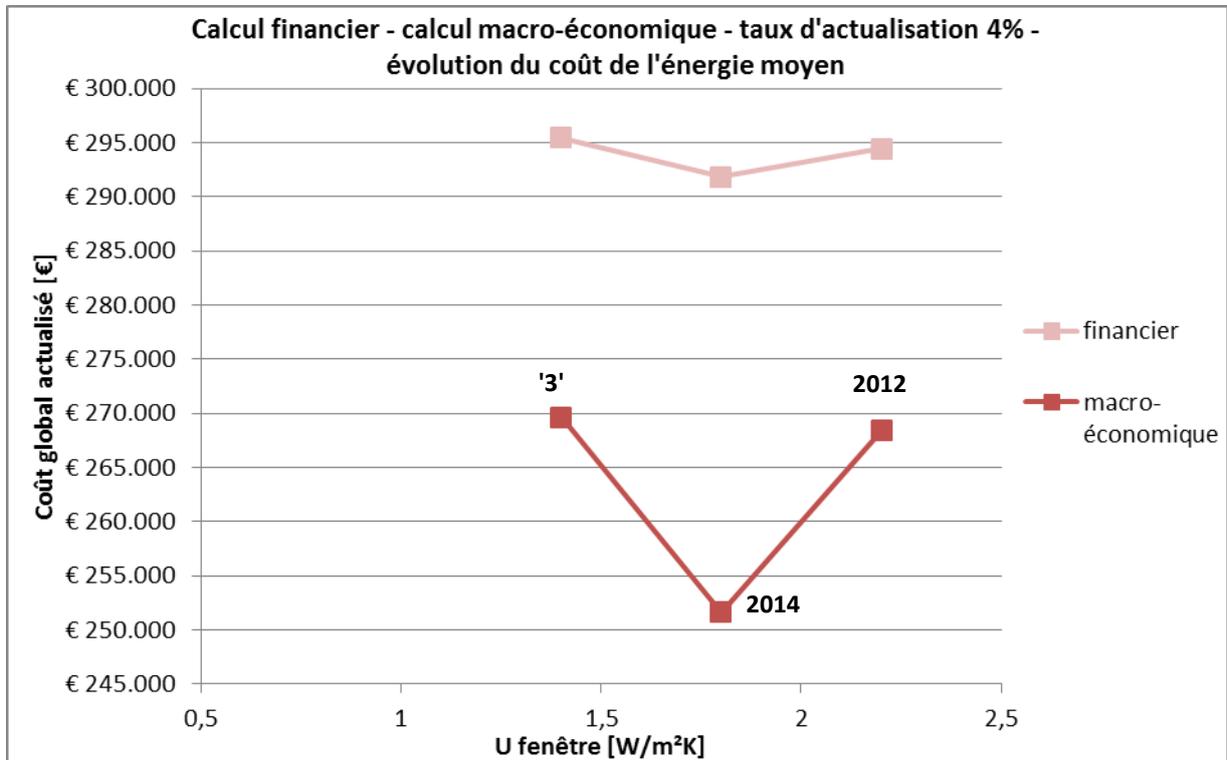
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



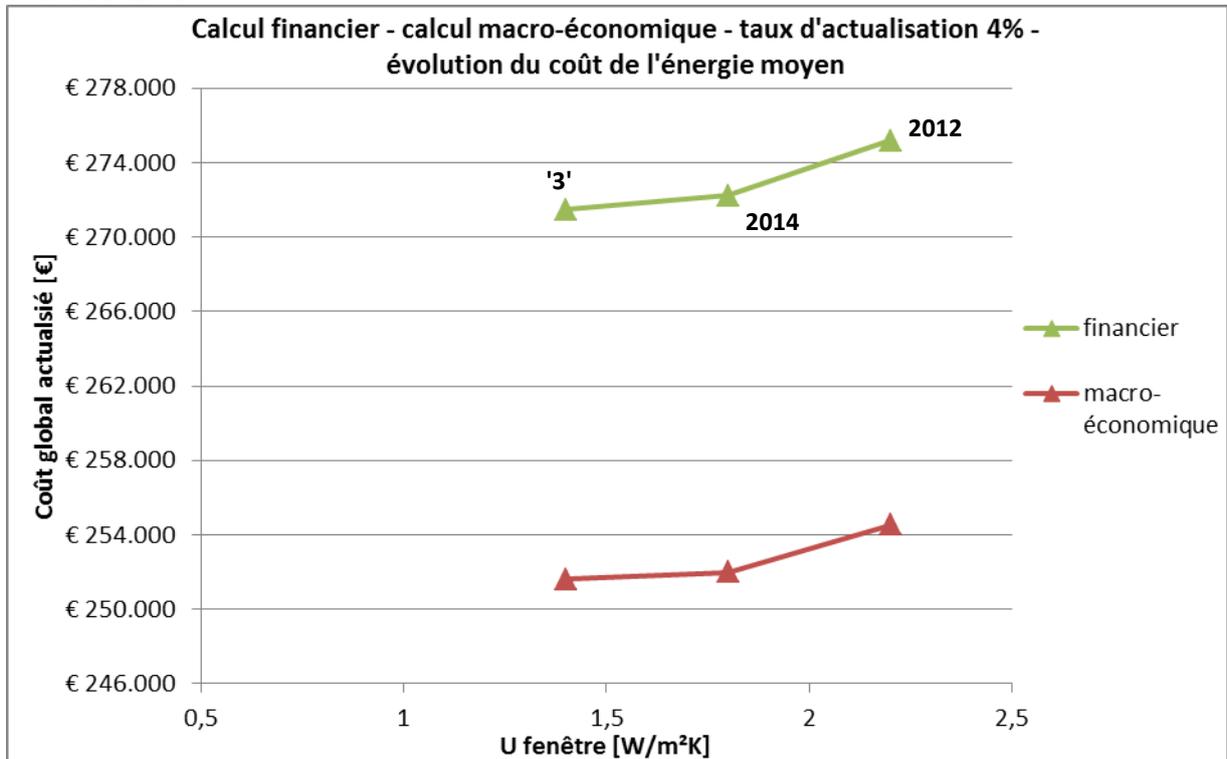
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit



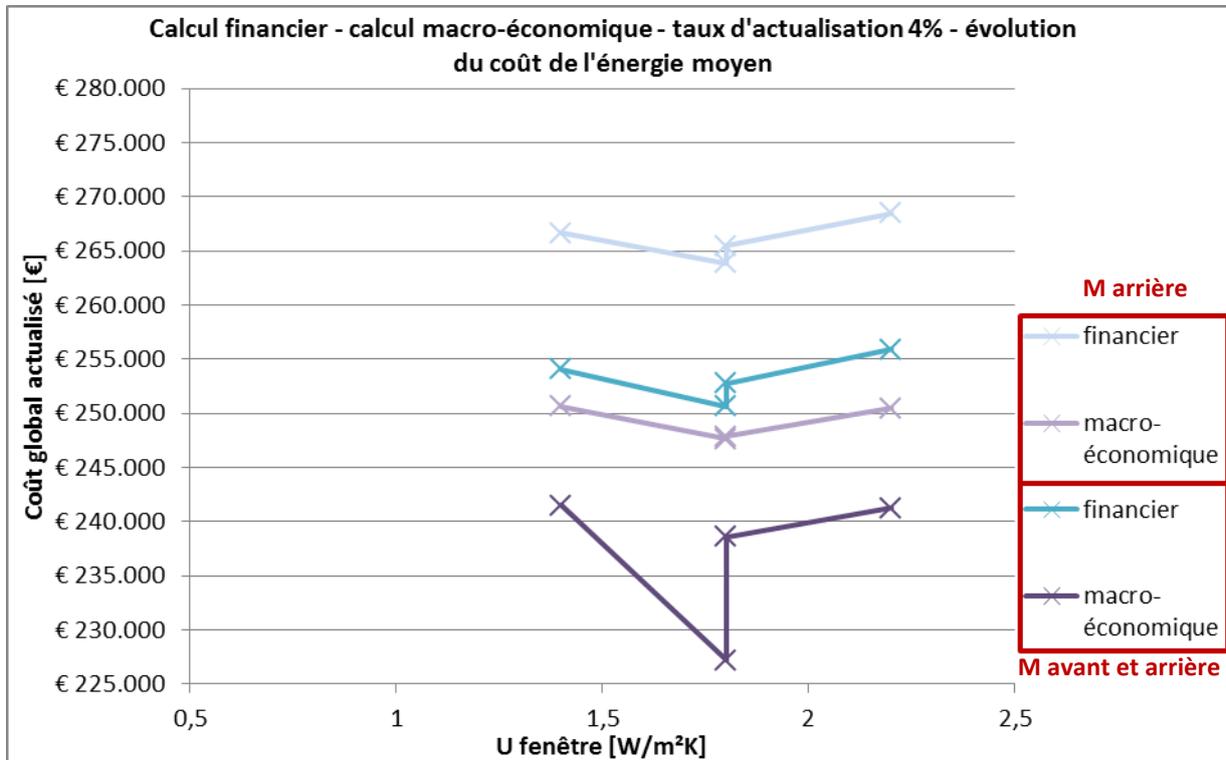
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres seules) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre

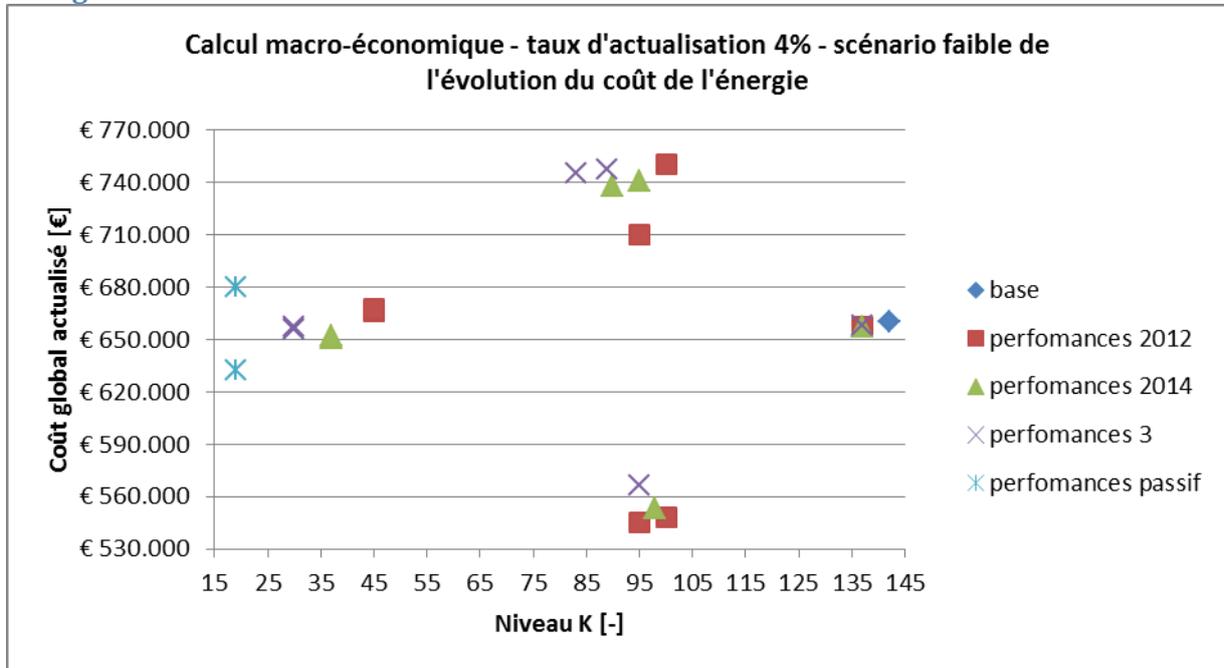


Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit+murs) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre

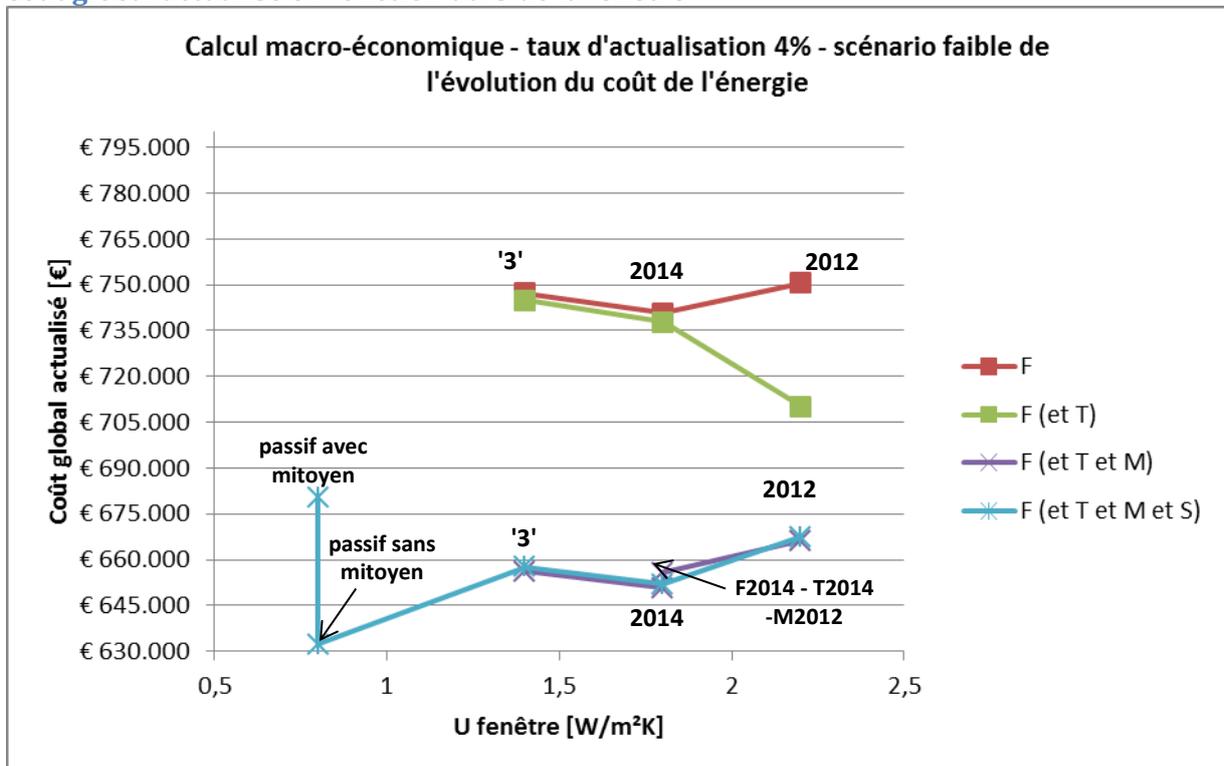


Graphiques supplémentaires AE2

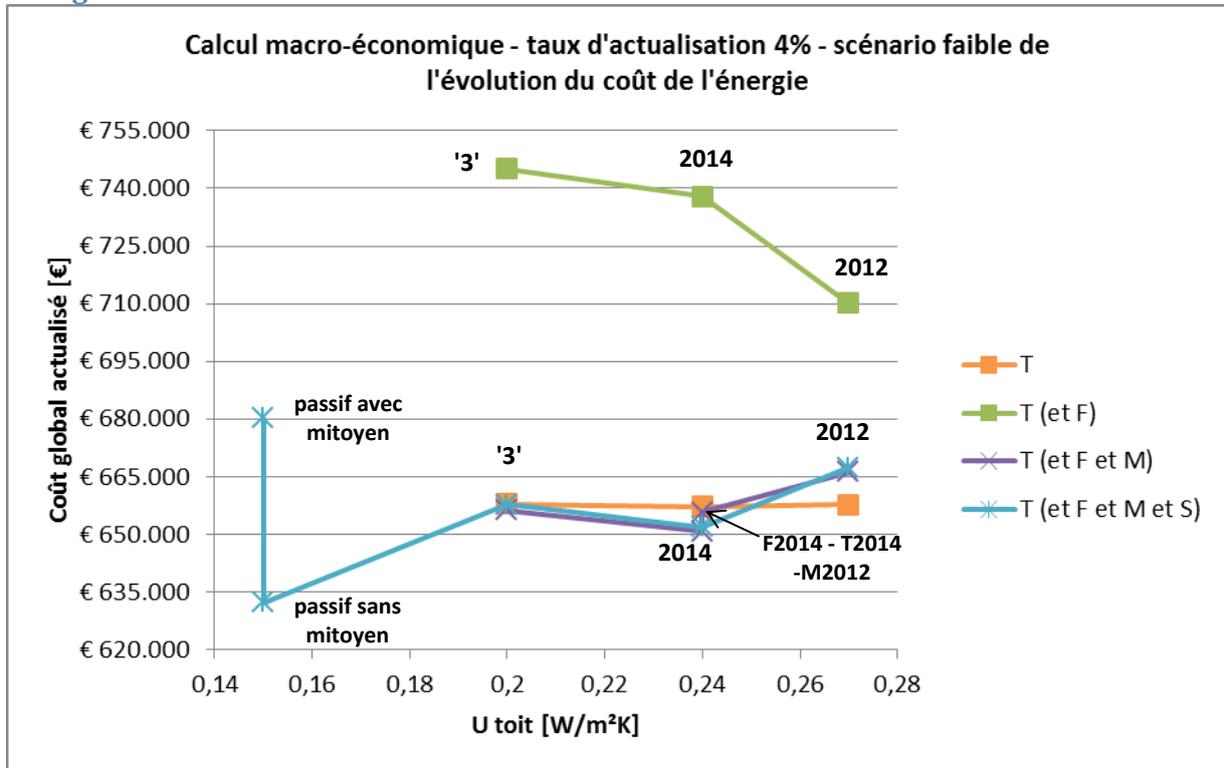
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



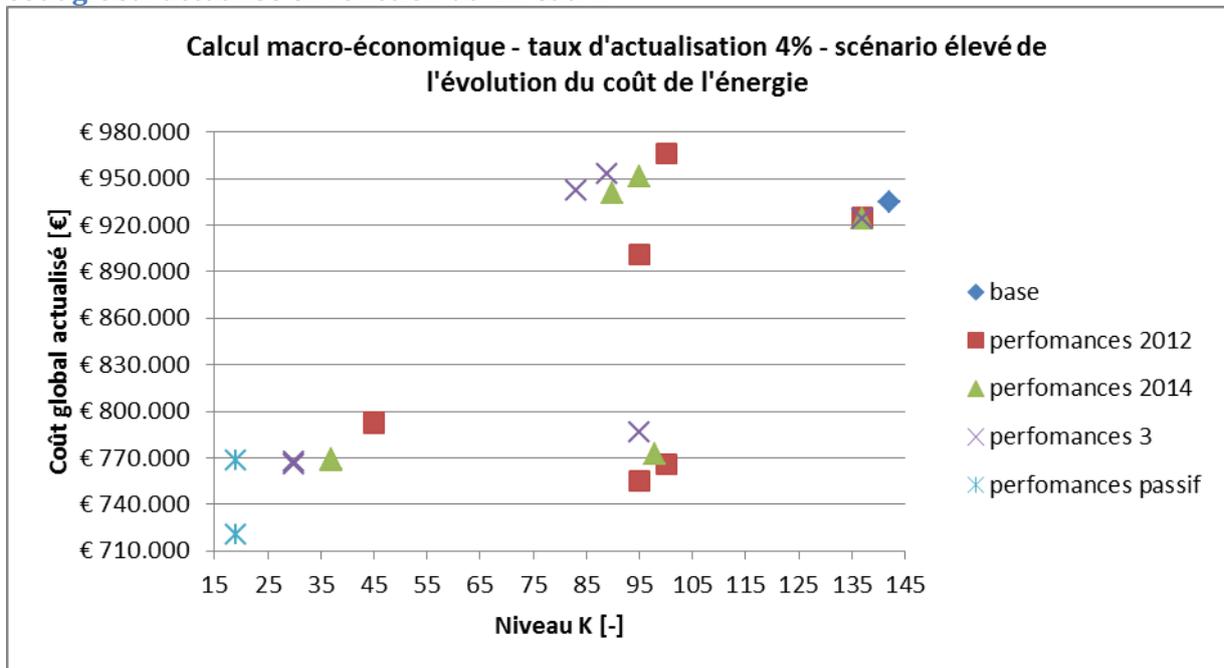
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



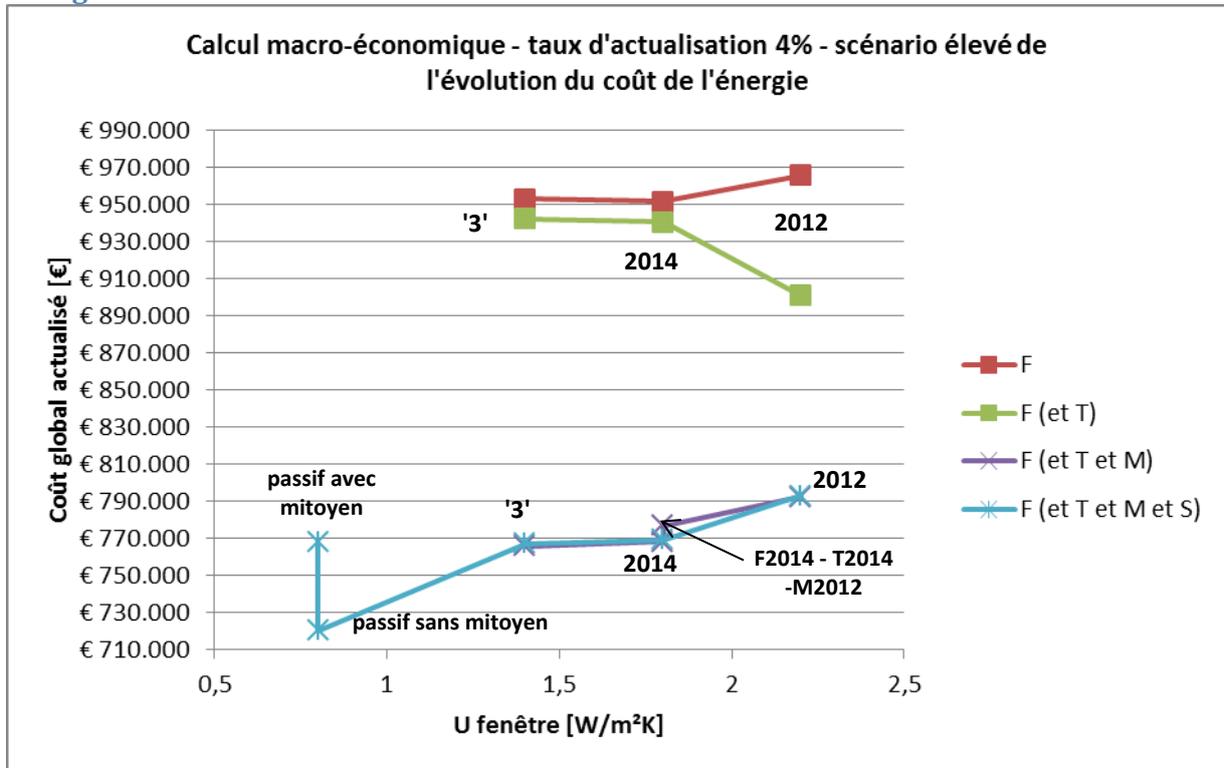
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



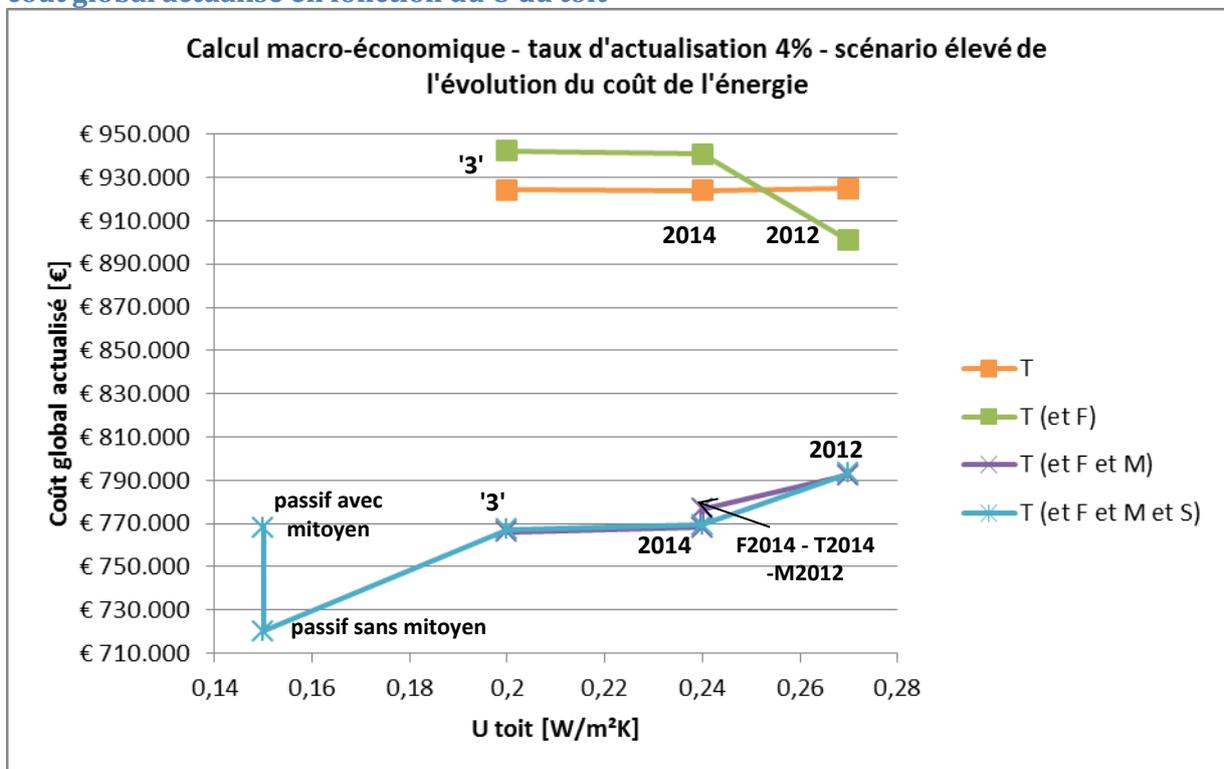
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



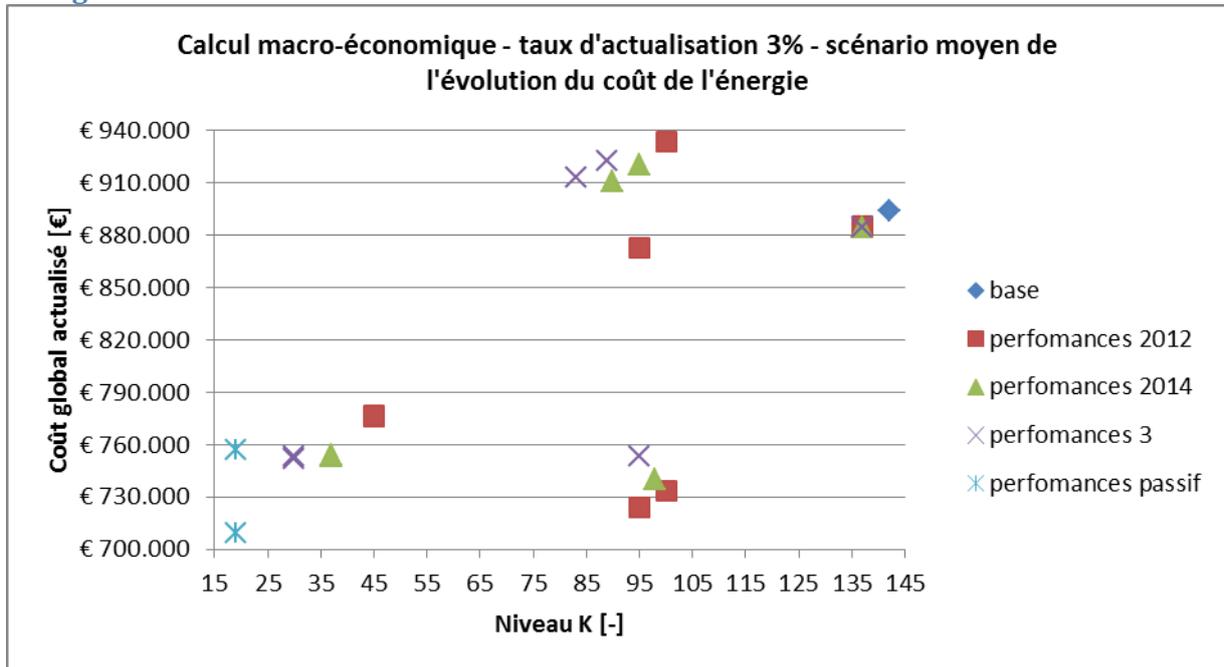
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



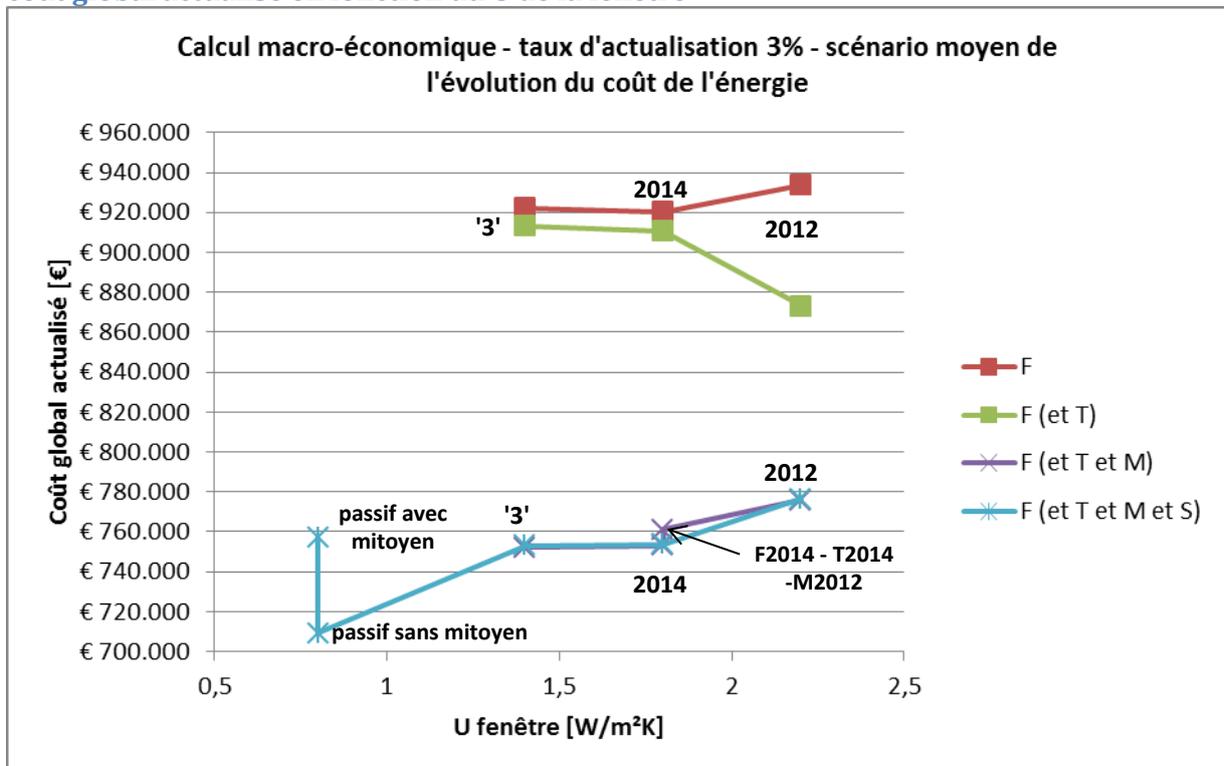
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



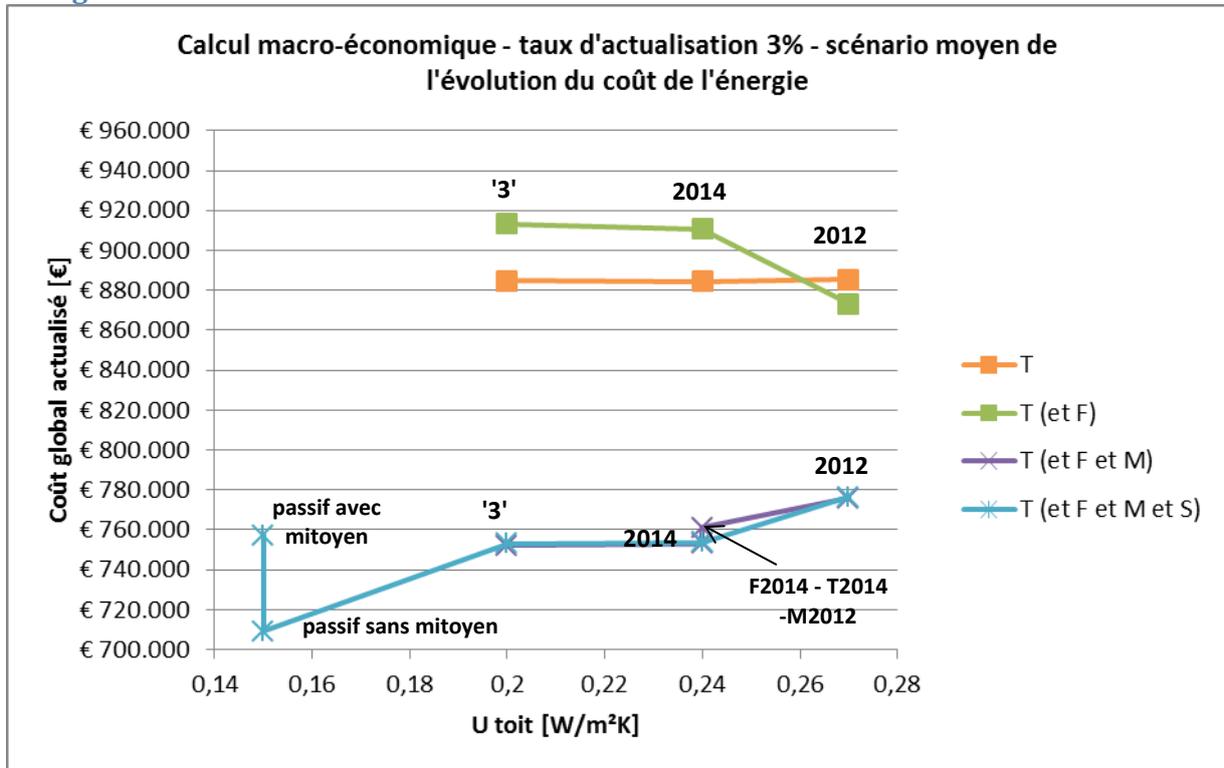
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



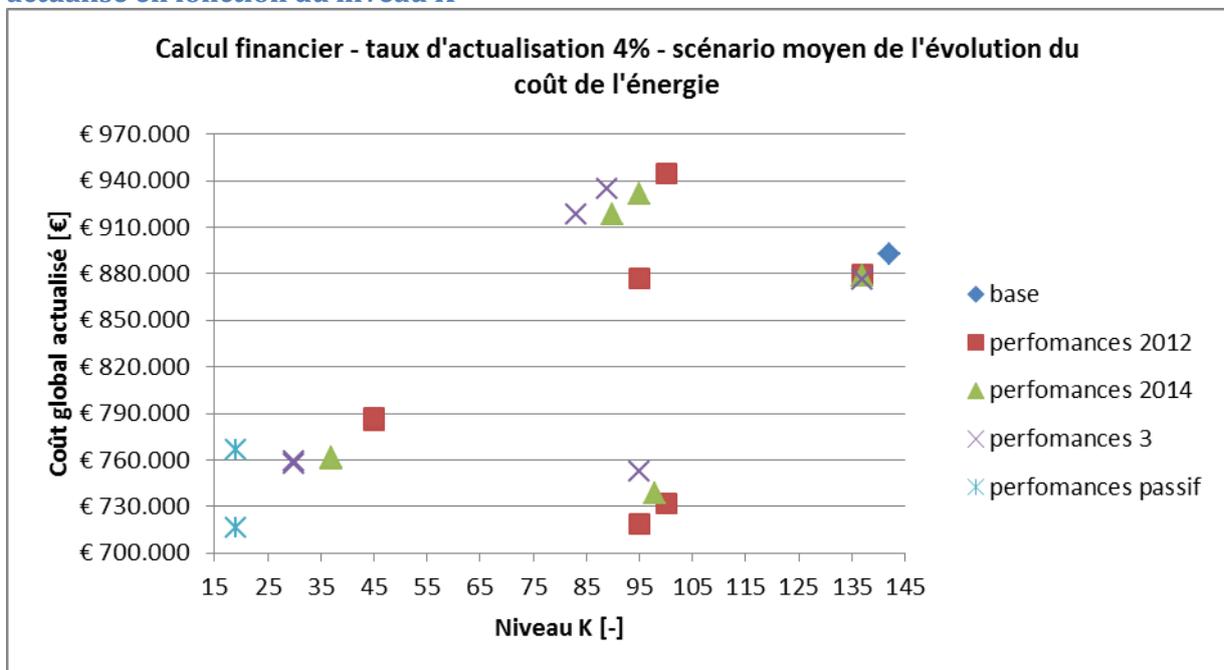
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



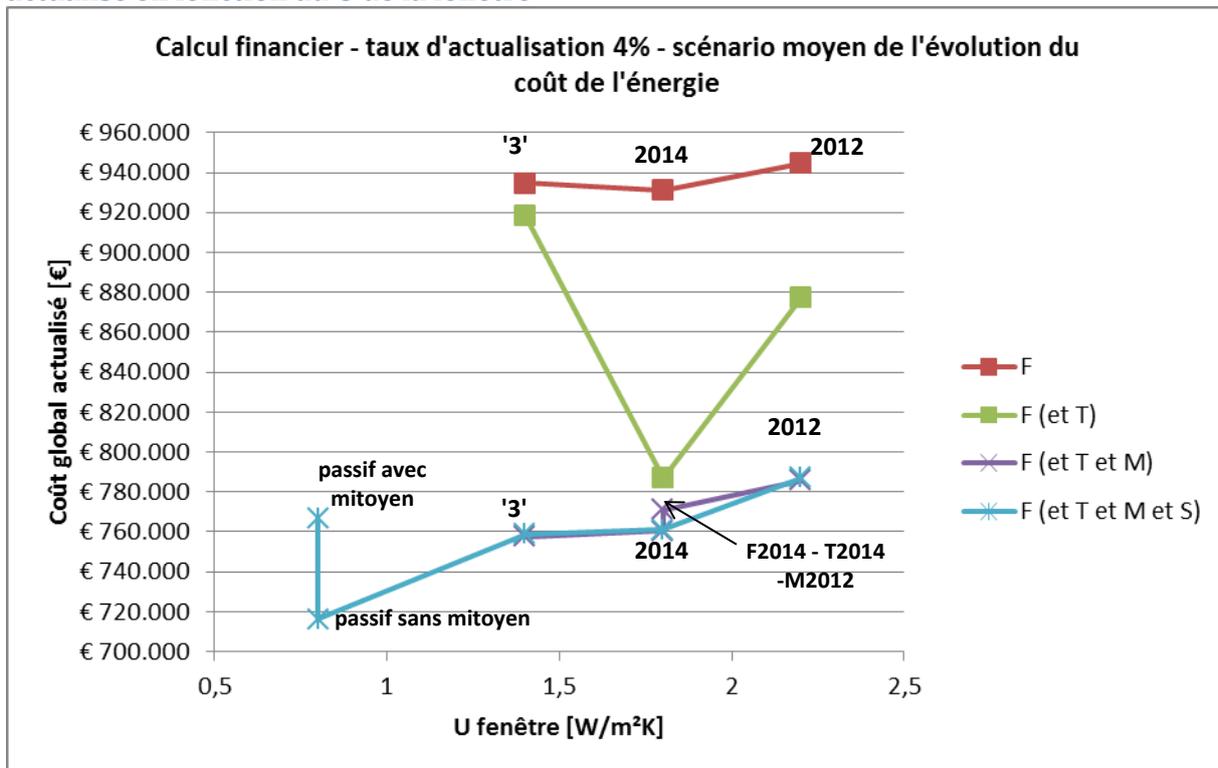
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



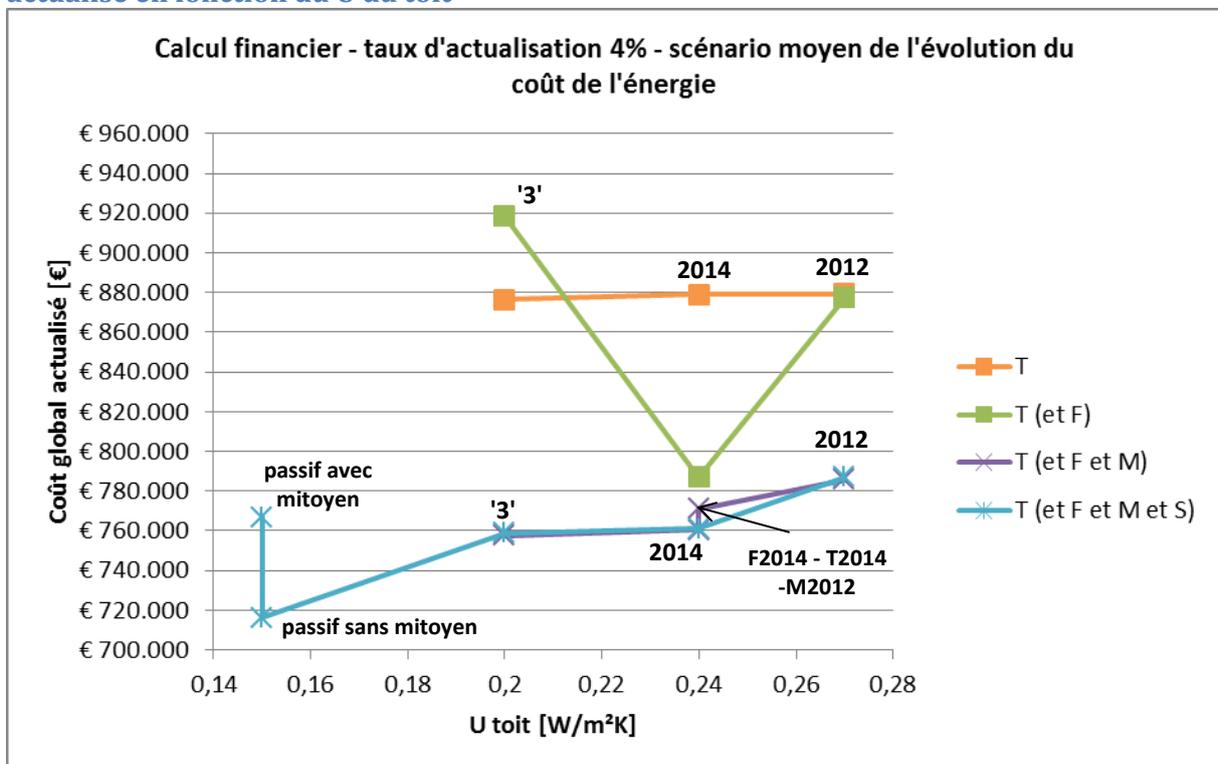
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



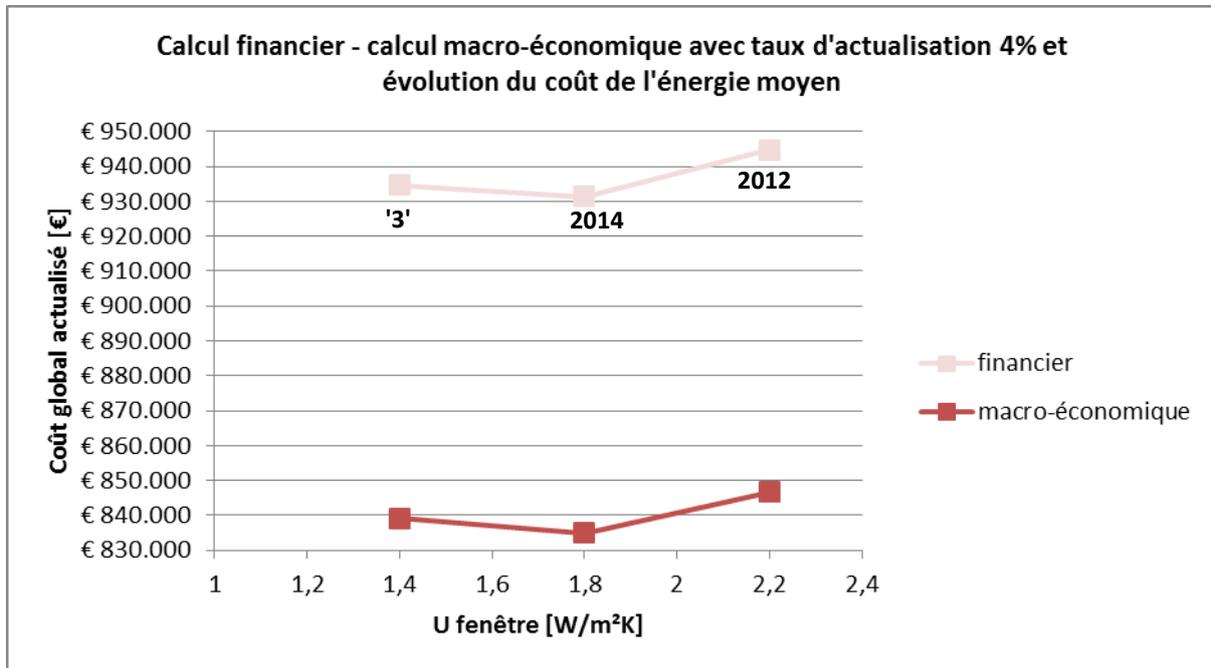
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



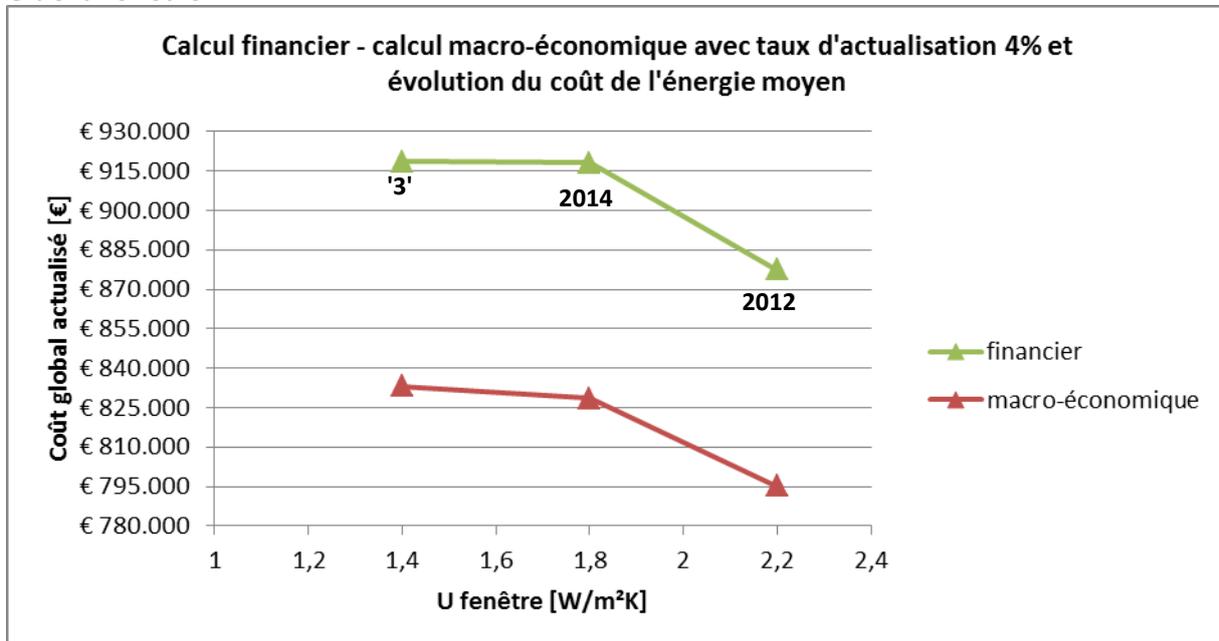
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U du toit



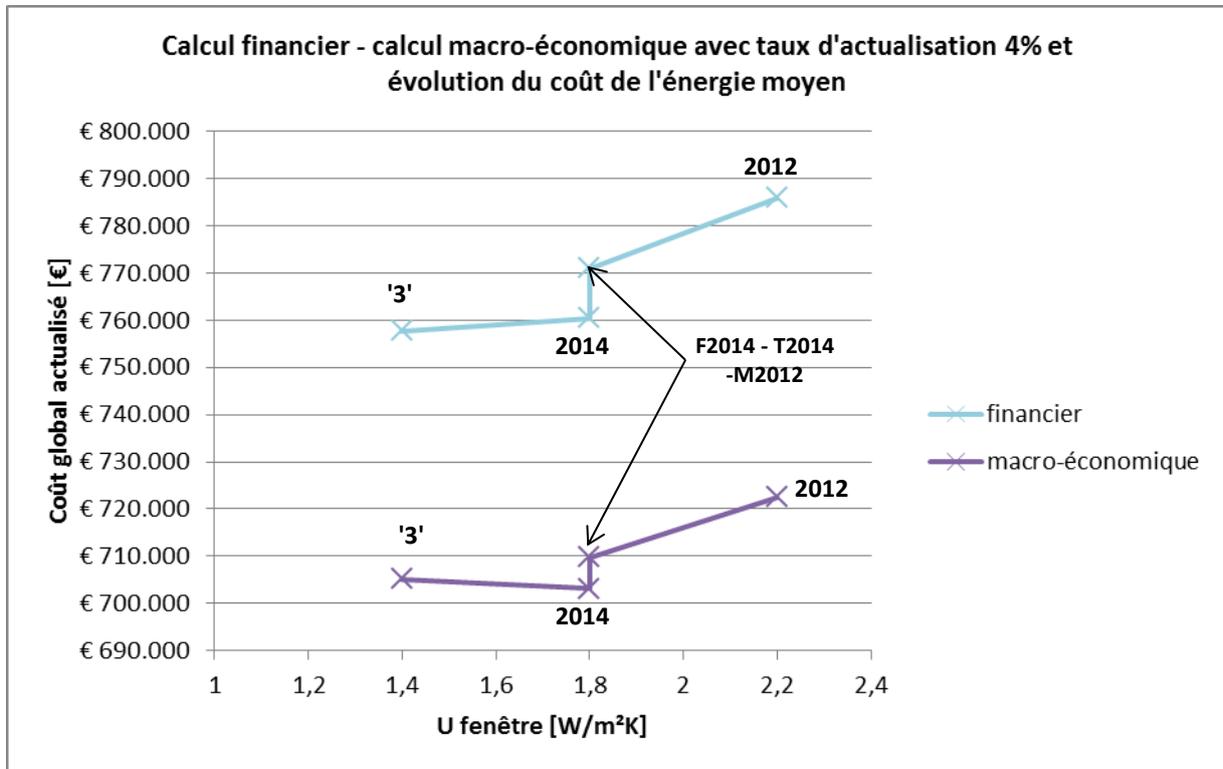
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres seules) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre

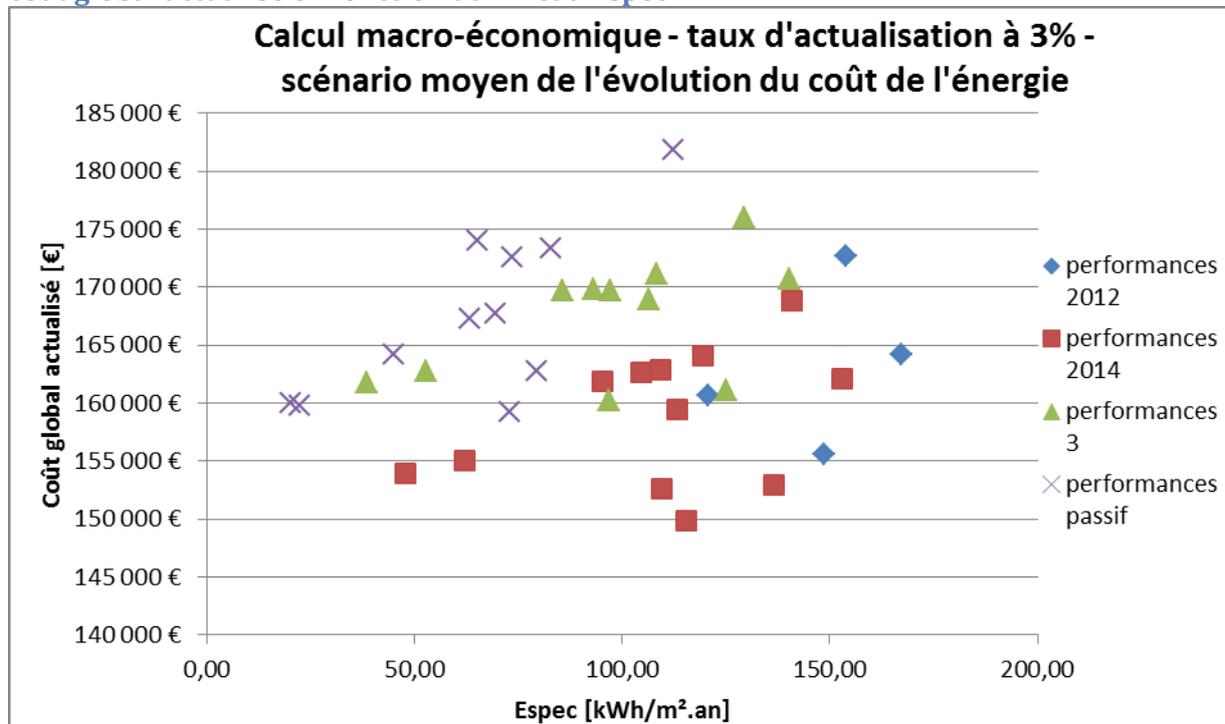


Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit+murs) : coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre

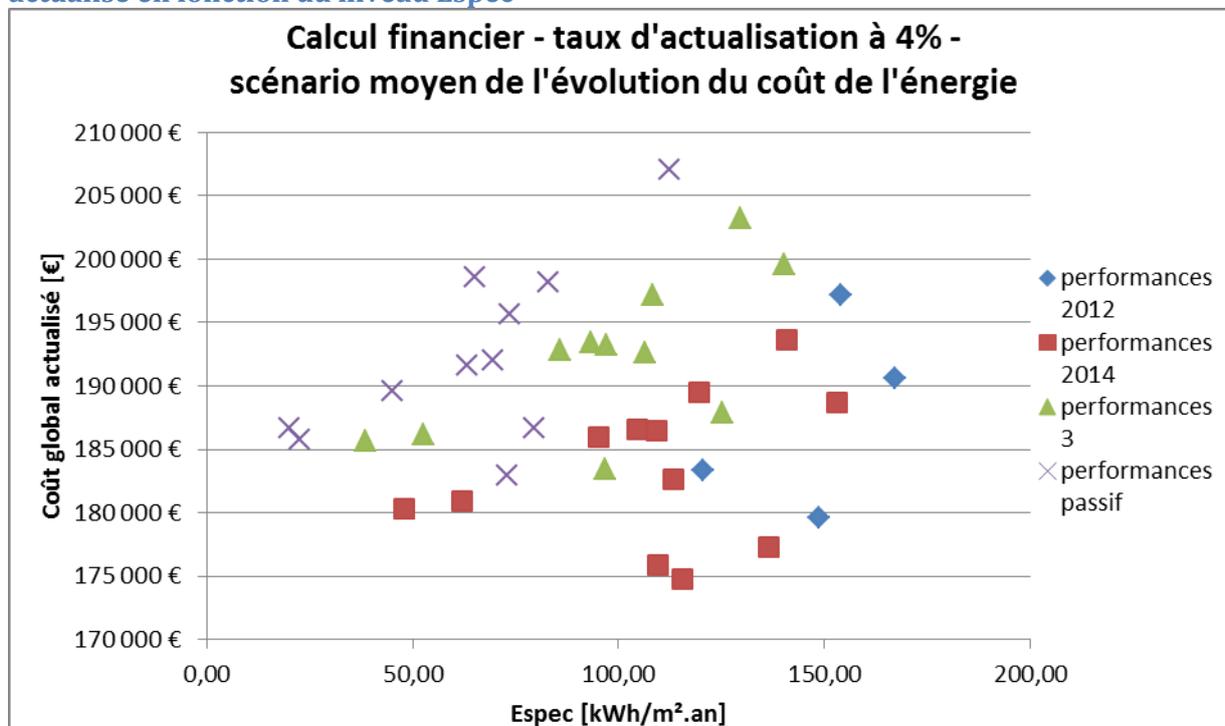


Graphiques supplémentaires MN1

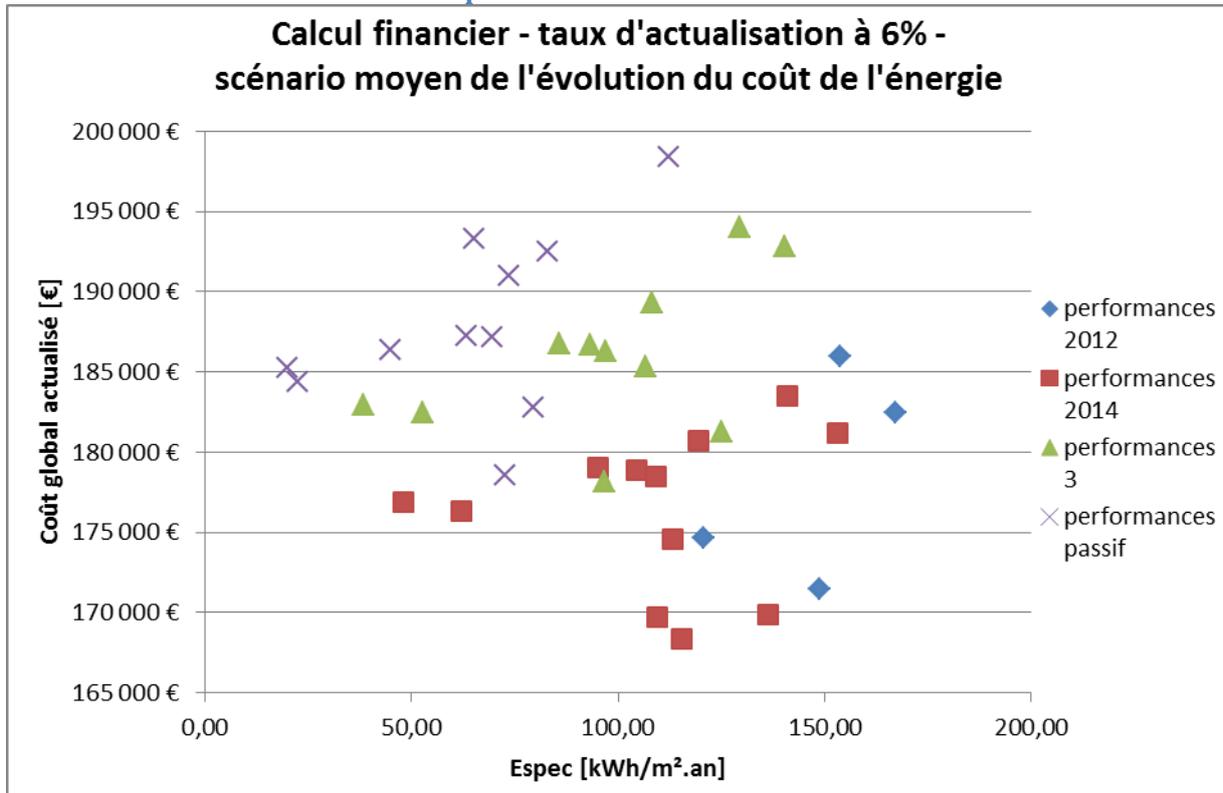
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie:
coût global actualisé en fonction du niveau Espec



Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau Espec

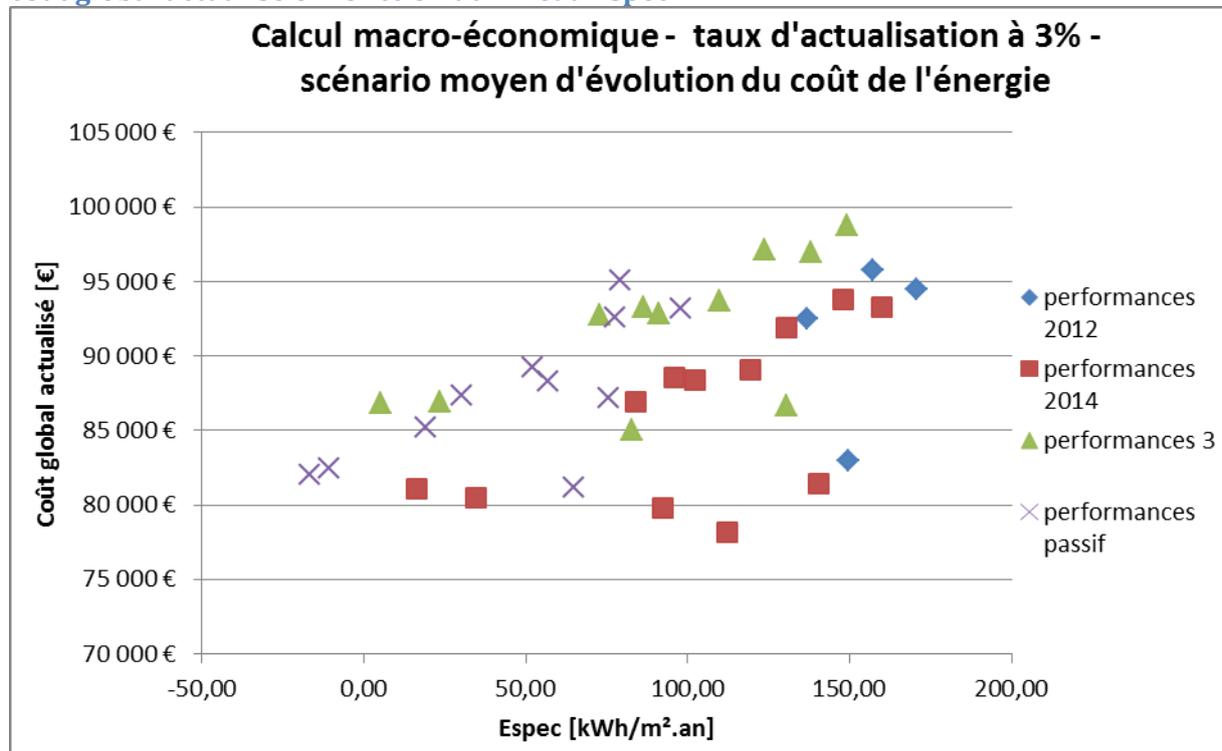


Calcul financier, taux d'actualisation 6%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau Espec

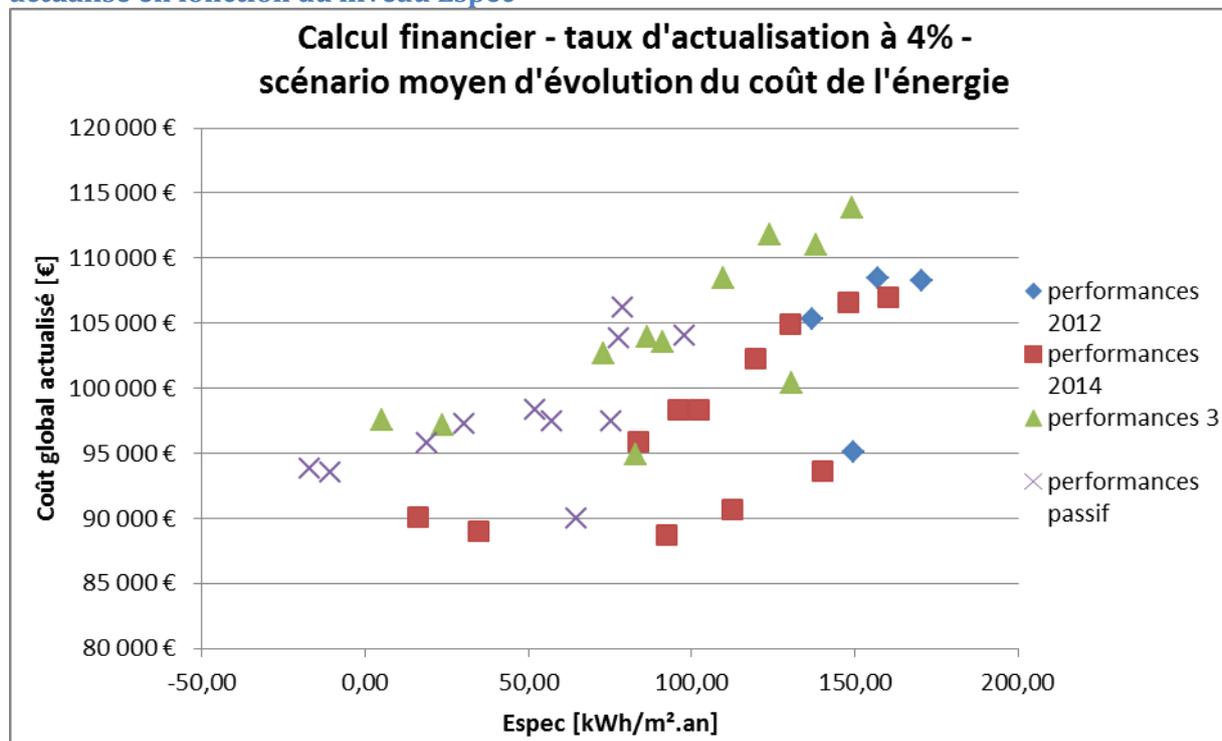


Graphiques supplémentaires MN2

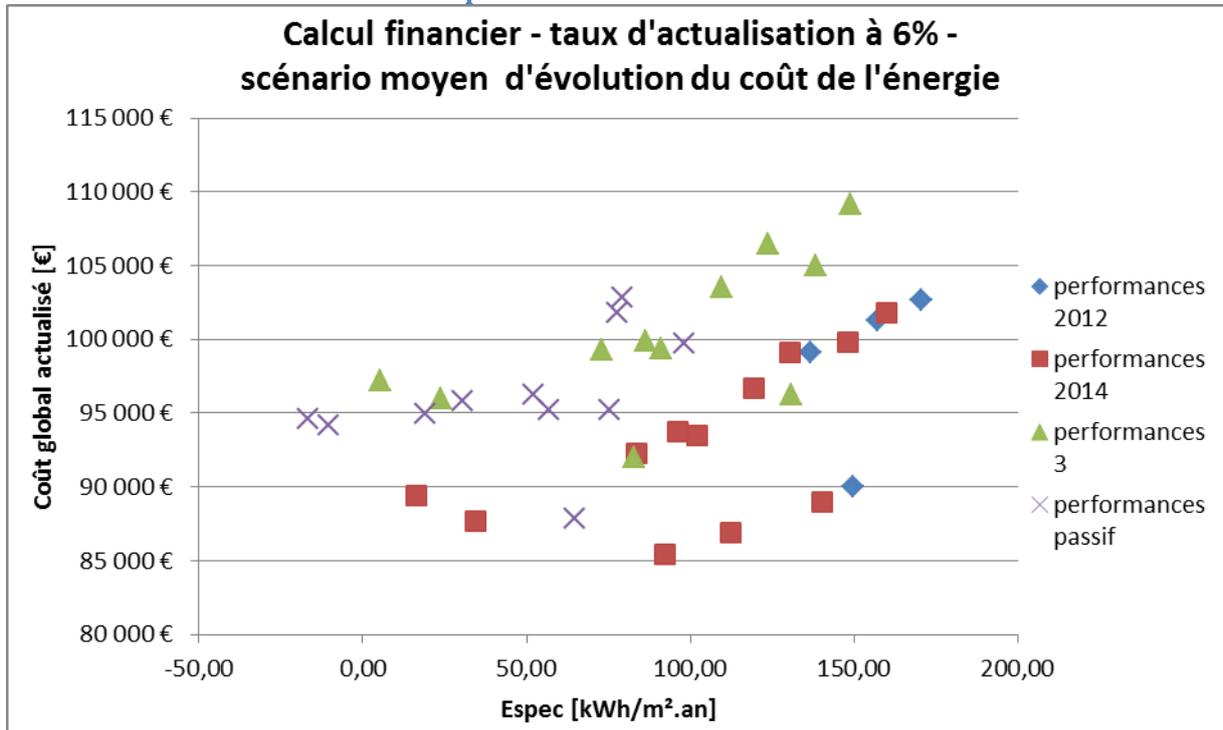
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie:
coût global actualisé en fonction du niveau Espec



Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau Espec

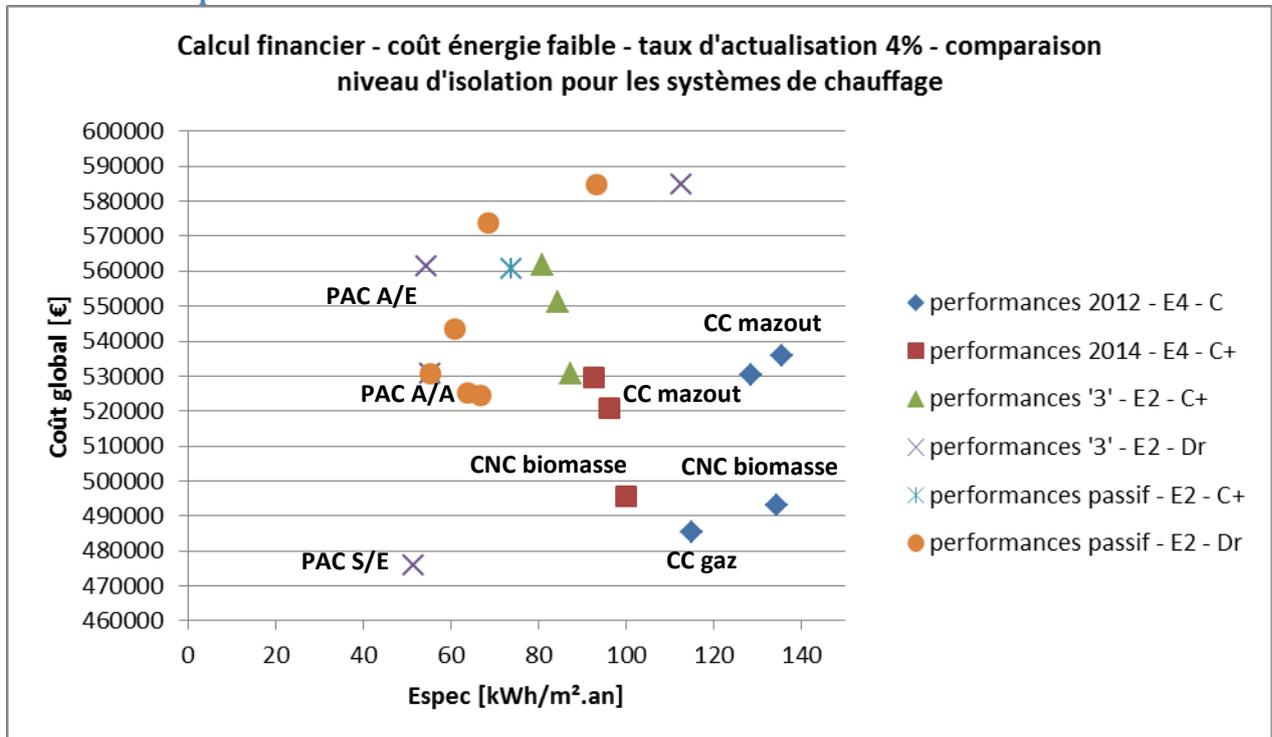


Calcul financier, taux d'actualisation 6%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau Espec

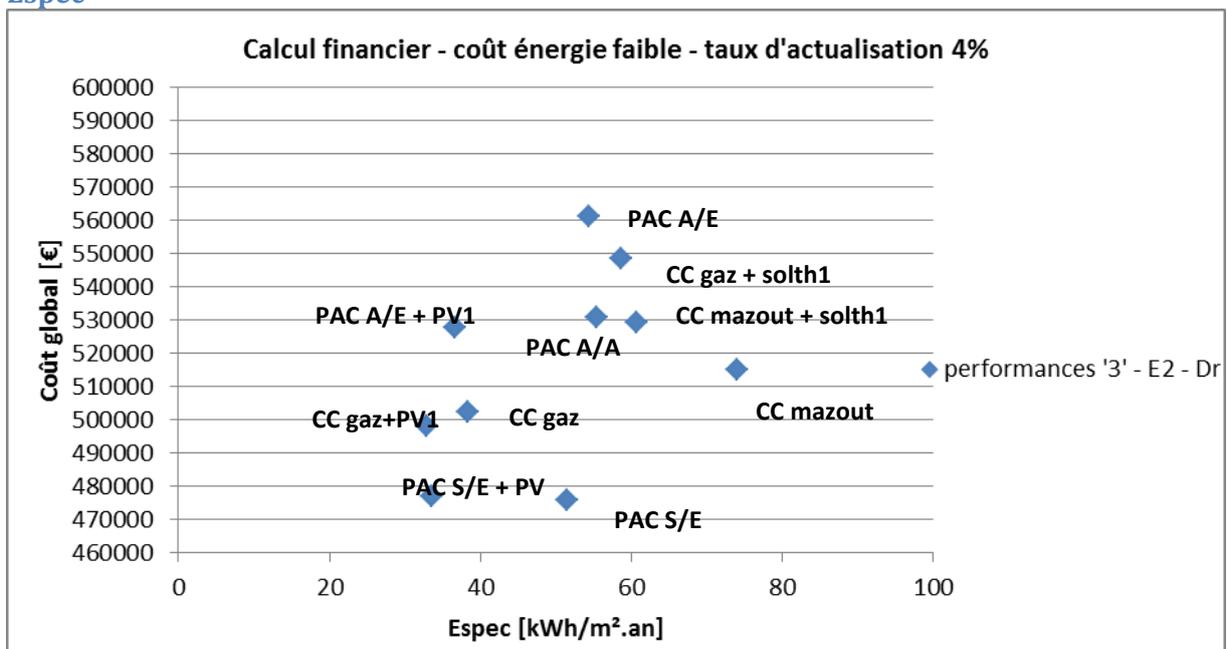


Graphiques supplémentaires AN

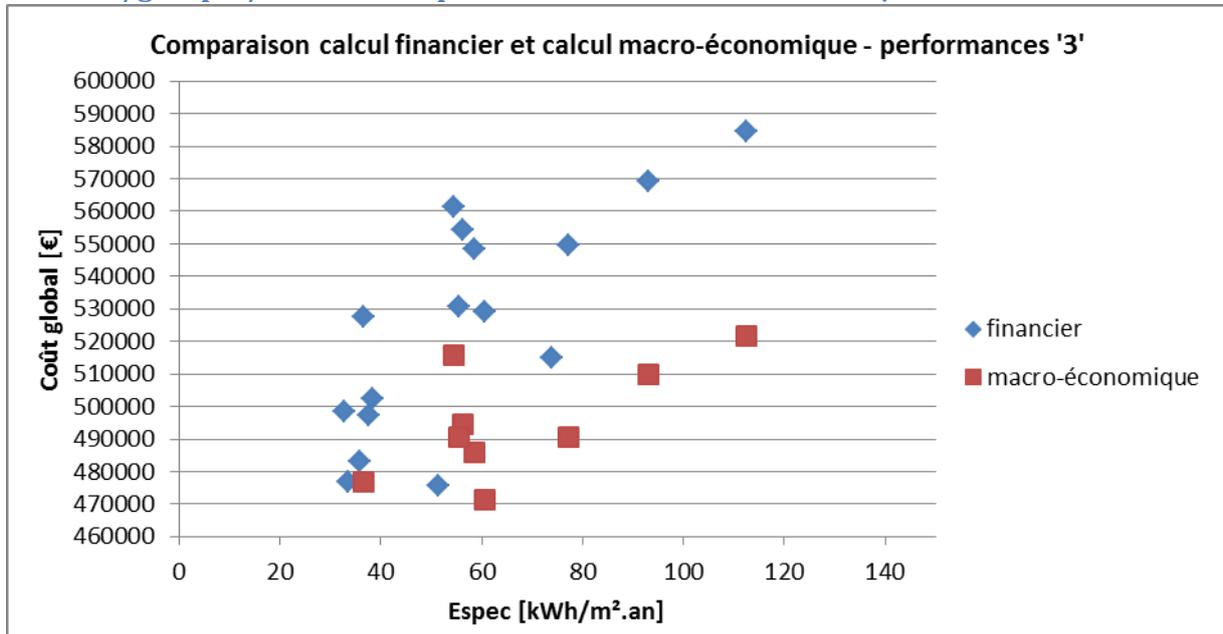
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie : comparaison niveau d'isolation pour les systèmes de chauffages - coût global actualisé en fonction du Espec



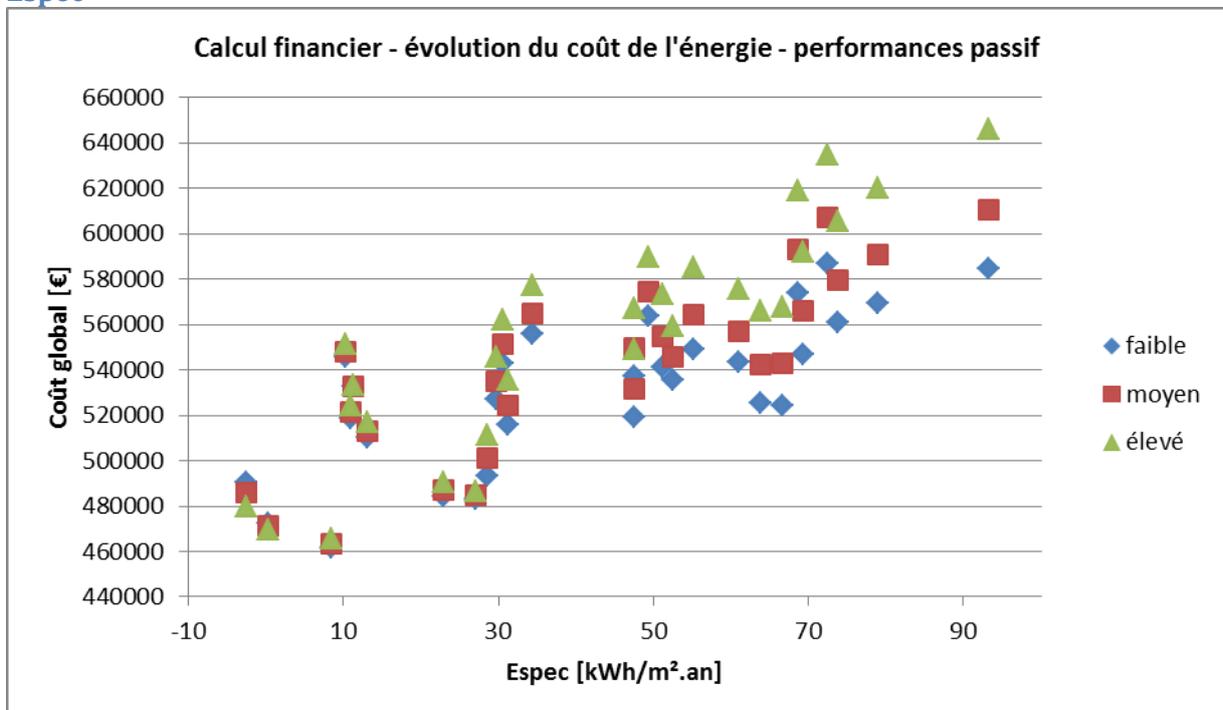
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie : coût global actualisé pour les mesures/groupes/variantes de performances '3'-E2-Dr en fonction du Espec



Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé pour les mesures/groupes/variantes de performances '3' en fonction de Espec

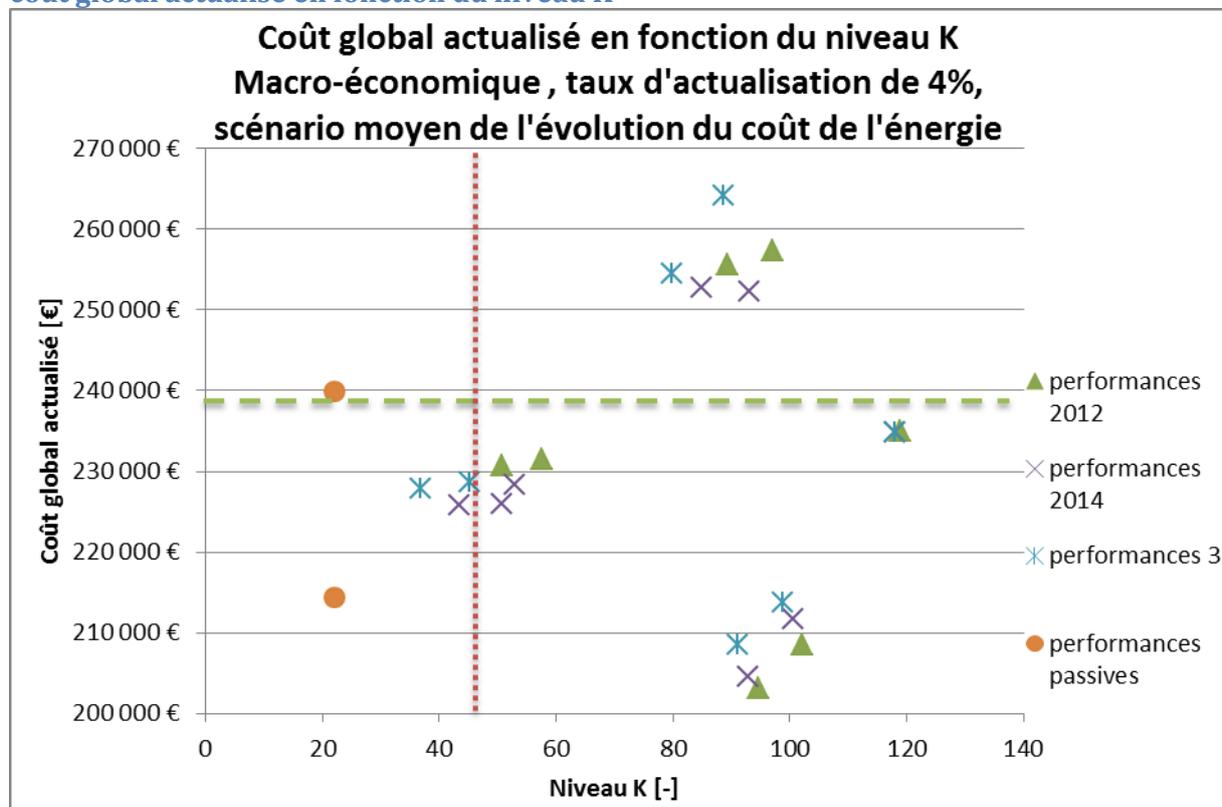


Calcul financier, taux d'actualisation 4%, évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé pour les mesures/groupes/variantes de performances « passif » en fonction de Espec



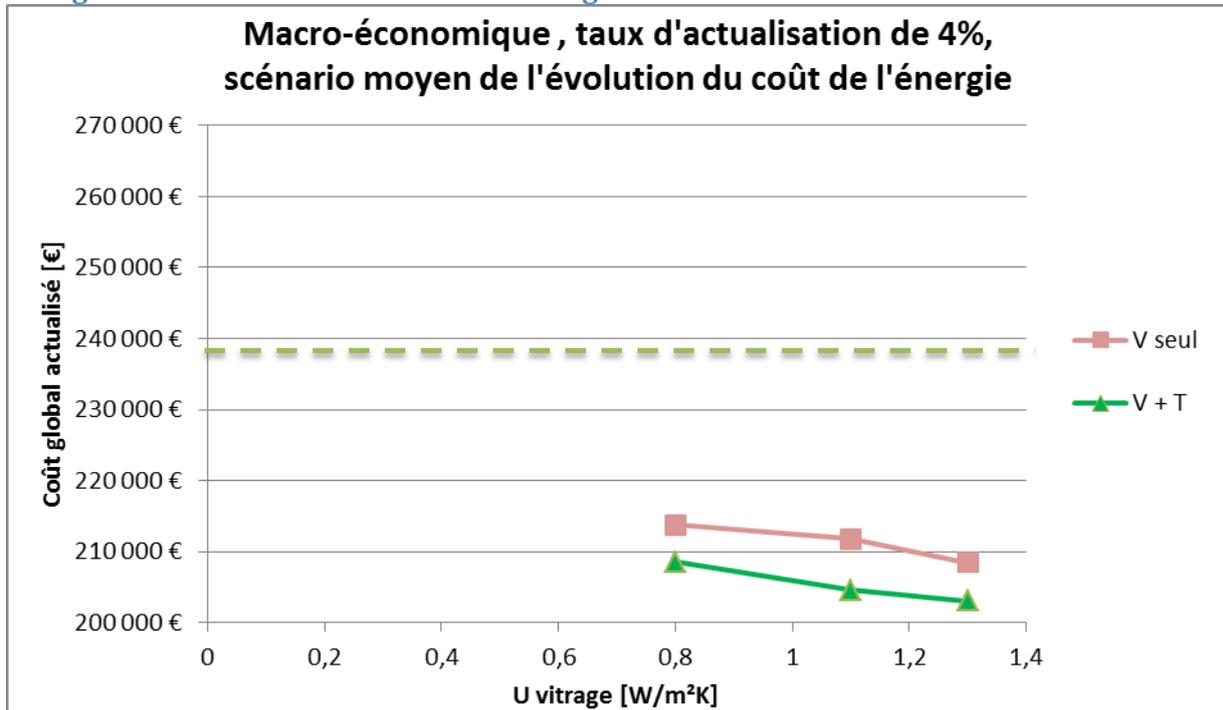
Bâtiment GLOBAL EXISTANT

Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie :
coût global actualisé en fonction du niveau K

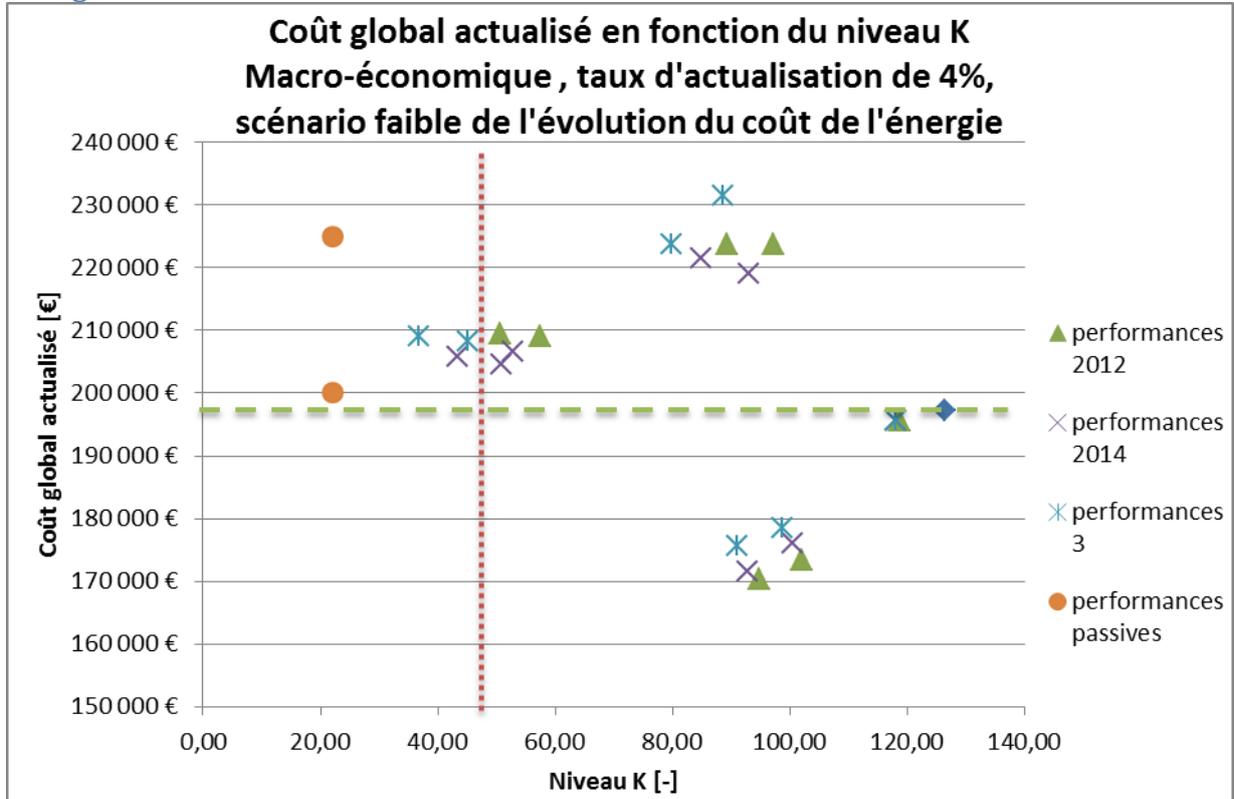


Lorsque l'on touche au vitrage, nous n'observons pas d'optimum. Cela est dû aux caractéristiques choisies pour le vitrage, notamment son facteur solaire. Le coût global actualisé est très intéressant mais les performances thermiques (notamment le niveau K) sont elles assez médiocres. L'investissement de base est assez réduit dans ce cas : à peu près 10 fois moins important que de remplacer les fenêtres complètes.

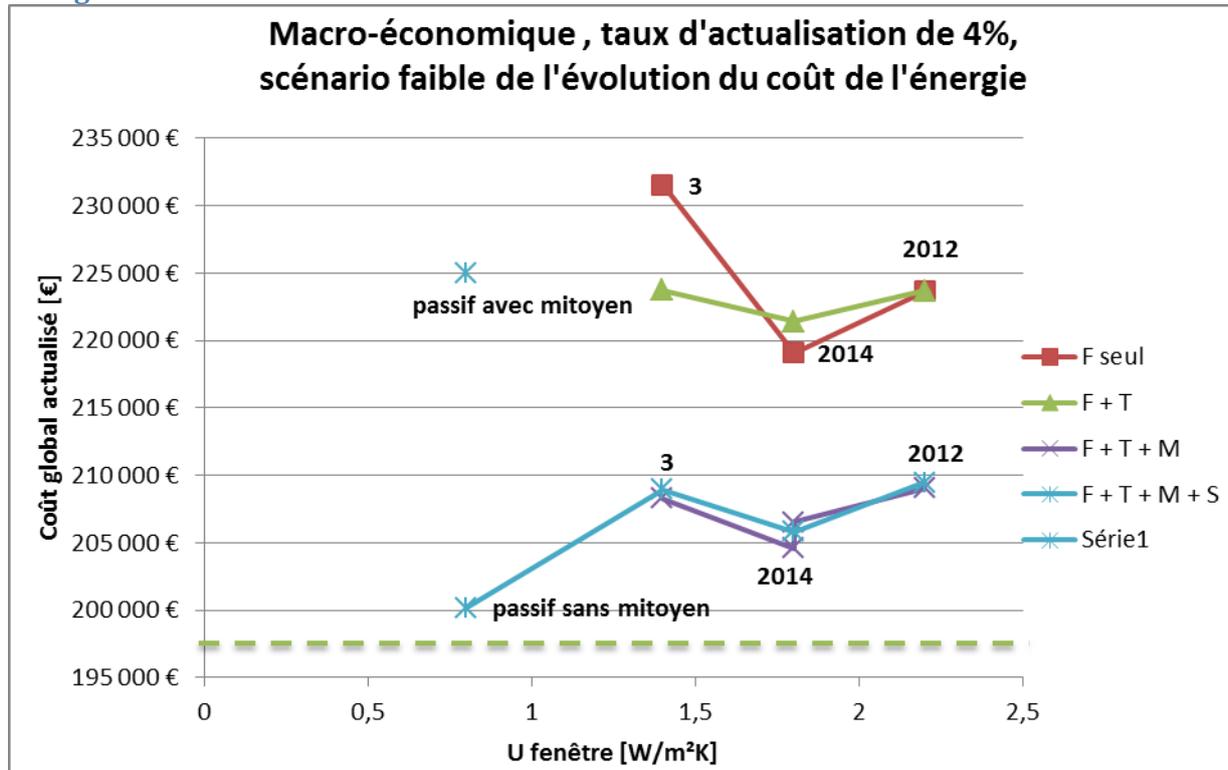
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie :
coût global actualisé en fonction du U vitrage



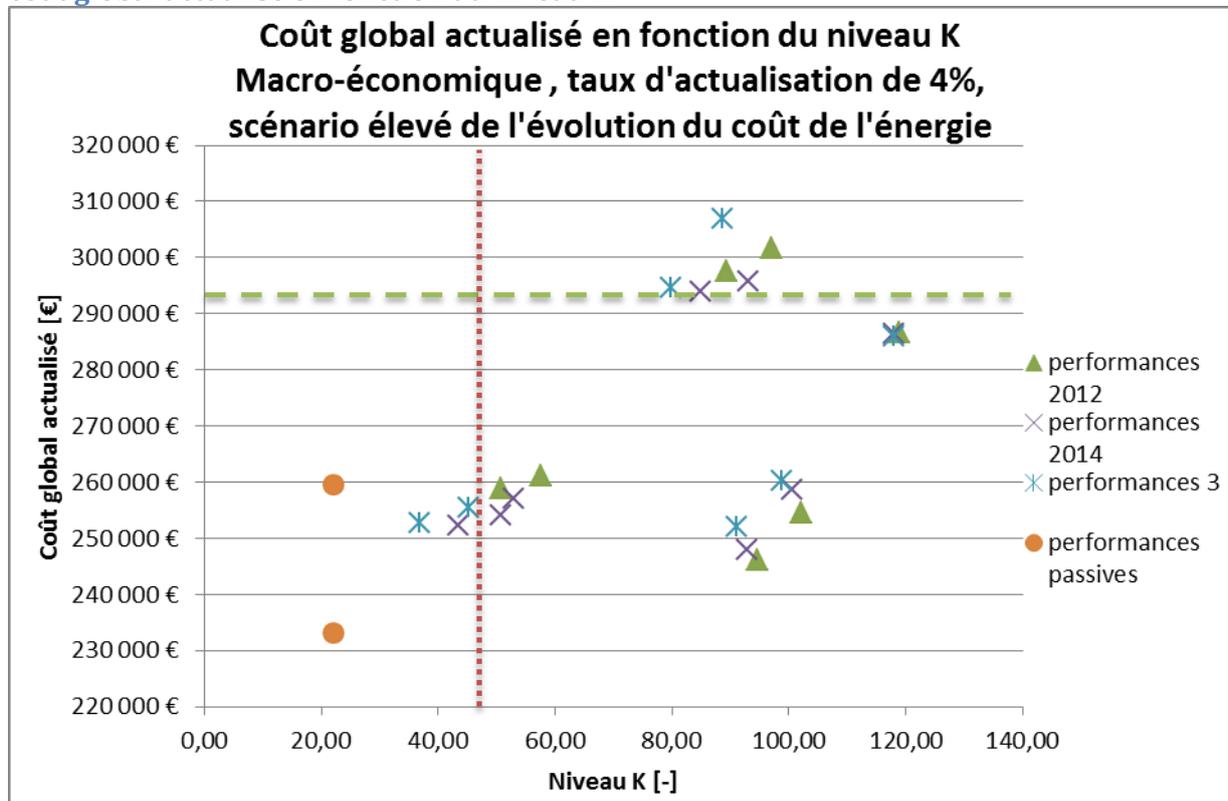
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie:
coût global actualisé en fonction du niveau K



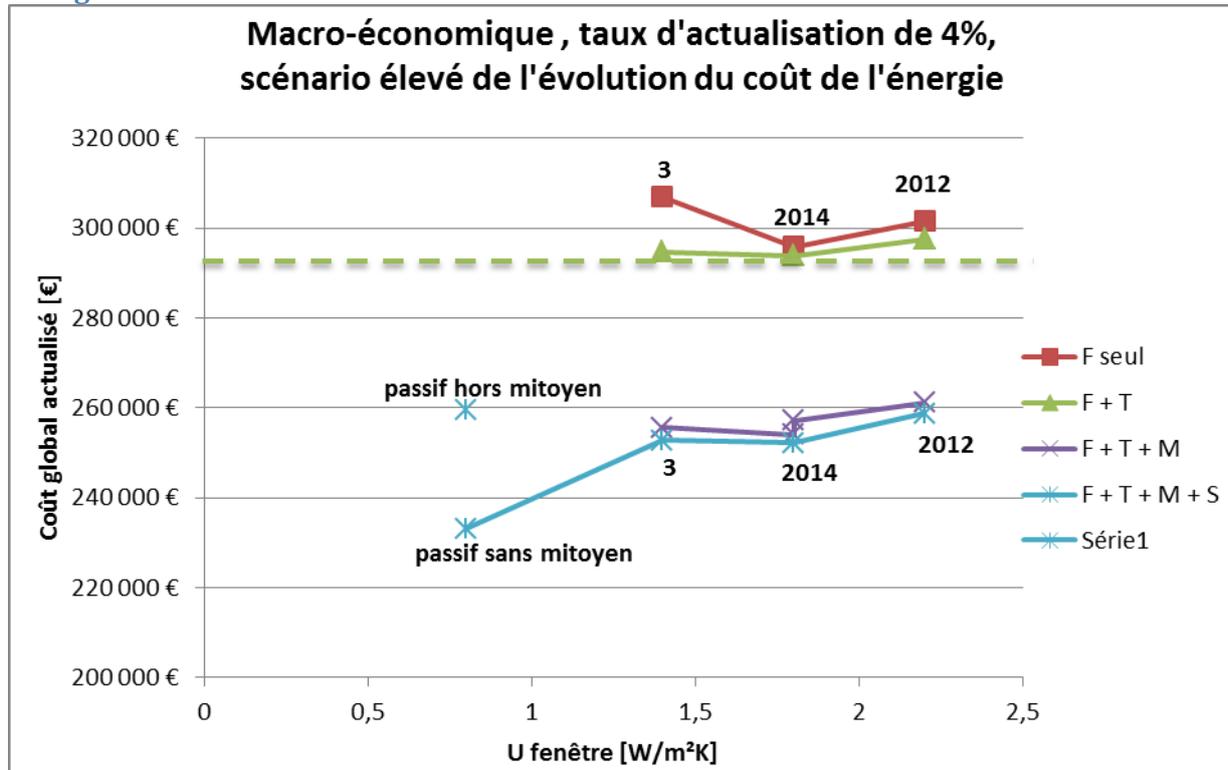
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre



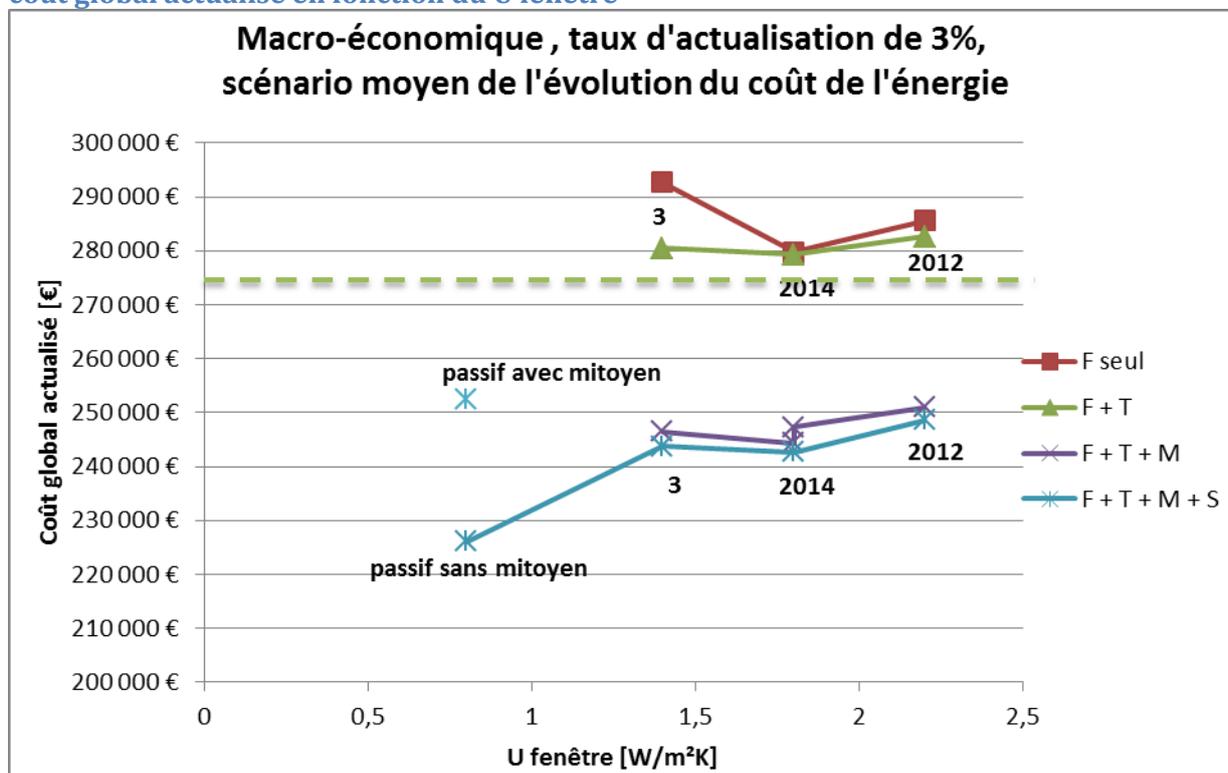
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



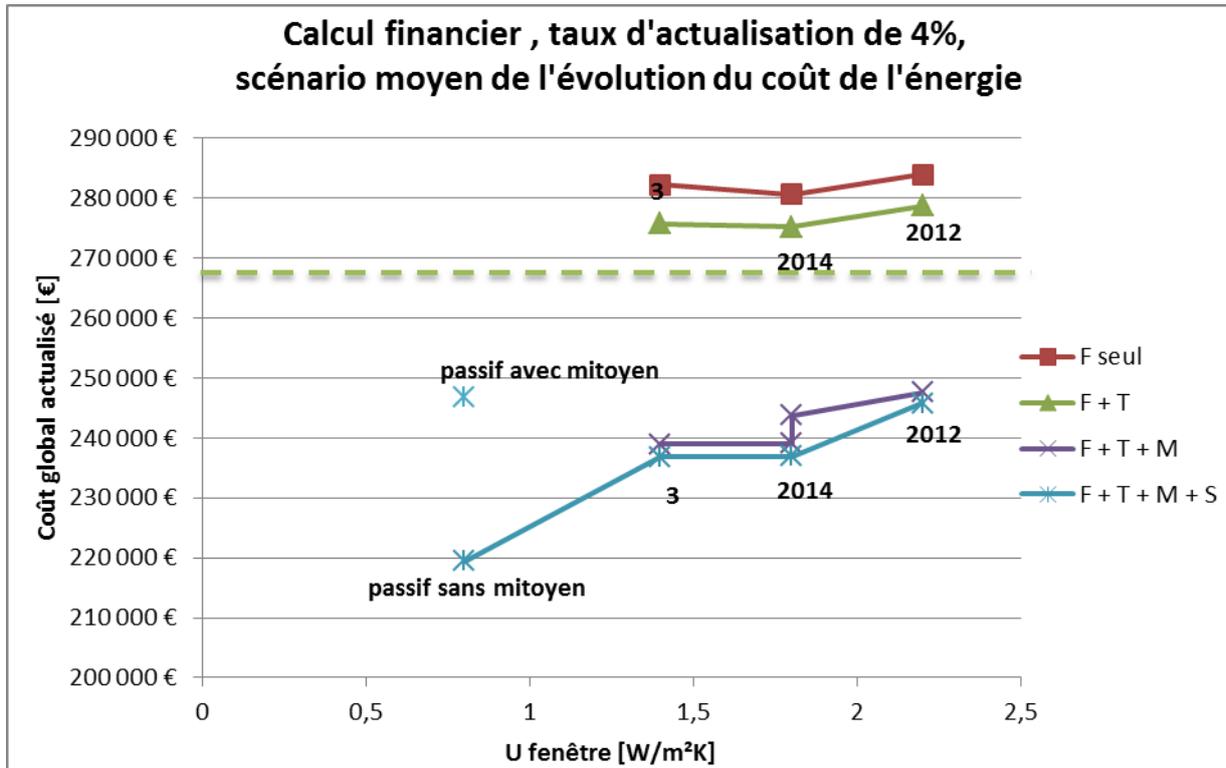
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre



Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre

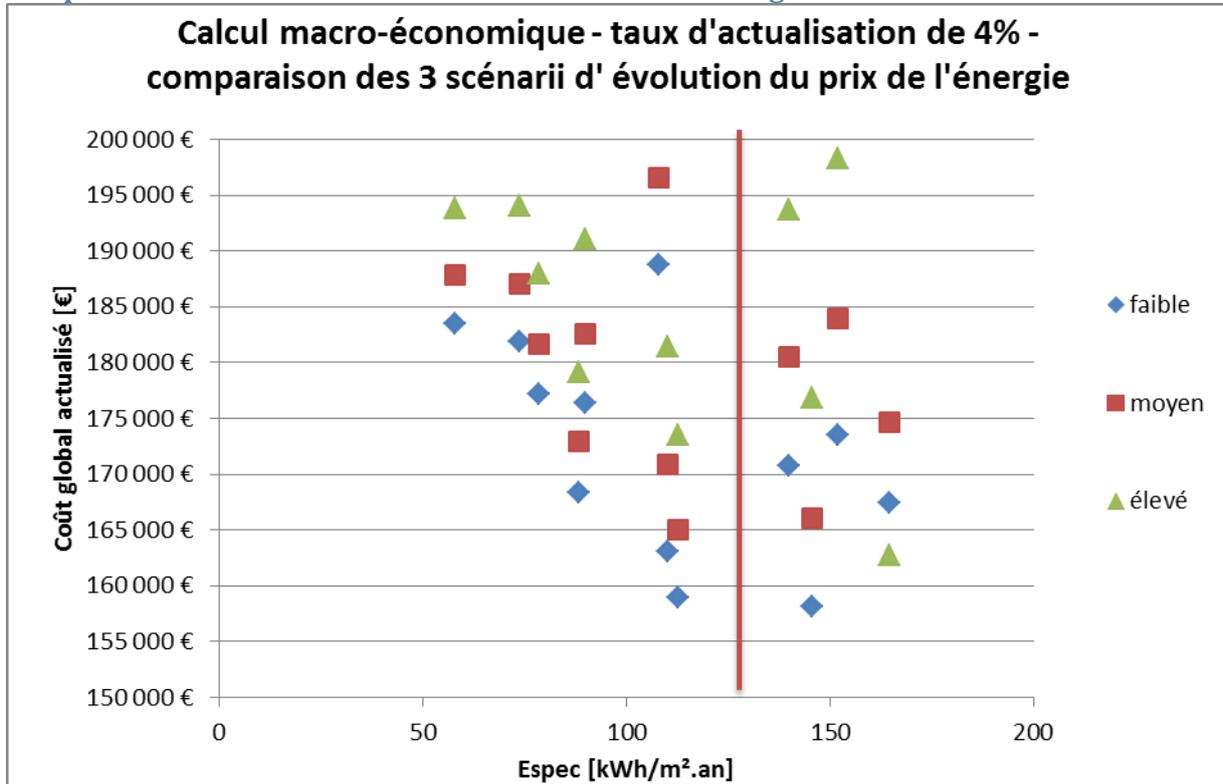


Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre

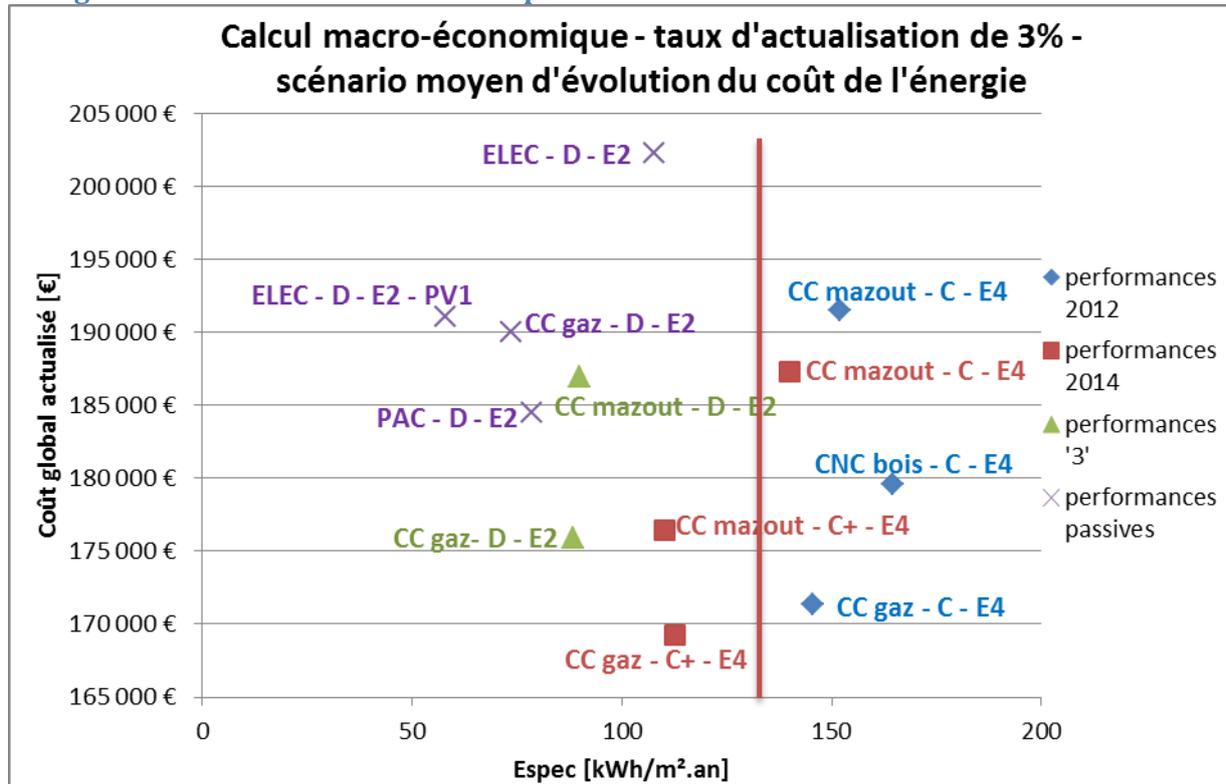


Bâtiment GLOBAL NEUF

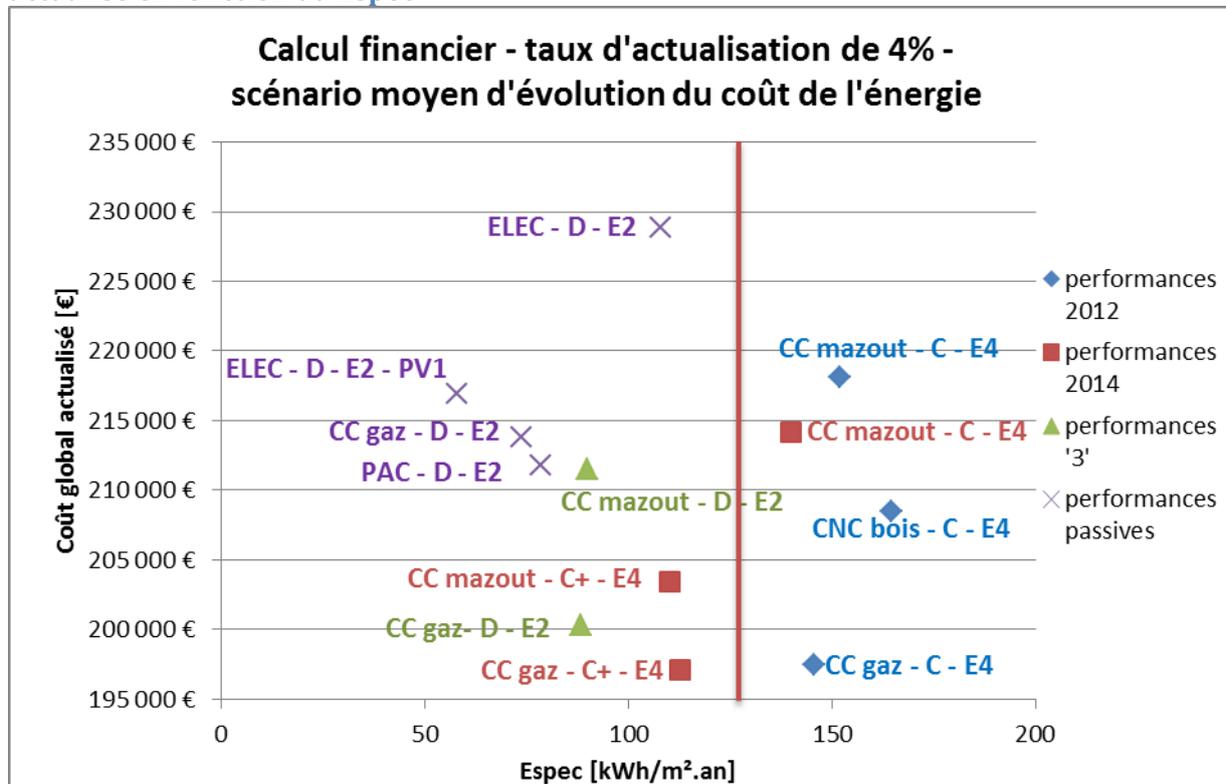
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie:
comparaison des 3 scénarii d'évolution du coût de l'énergie



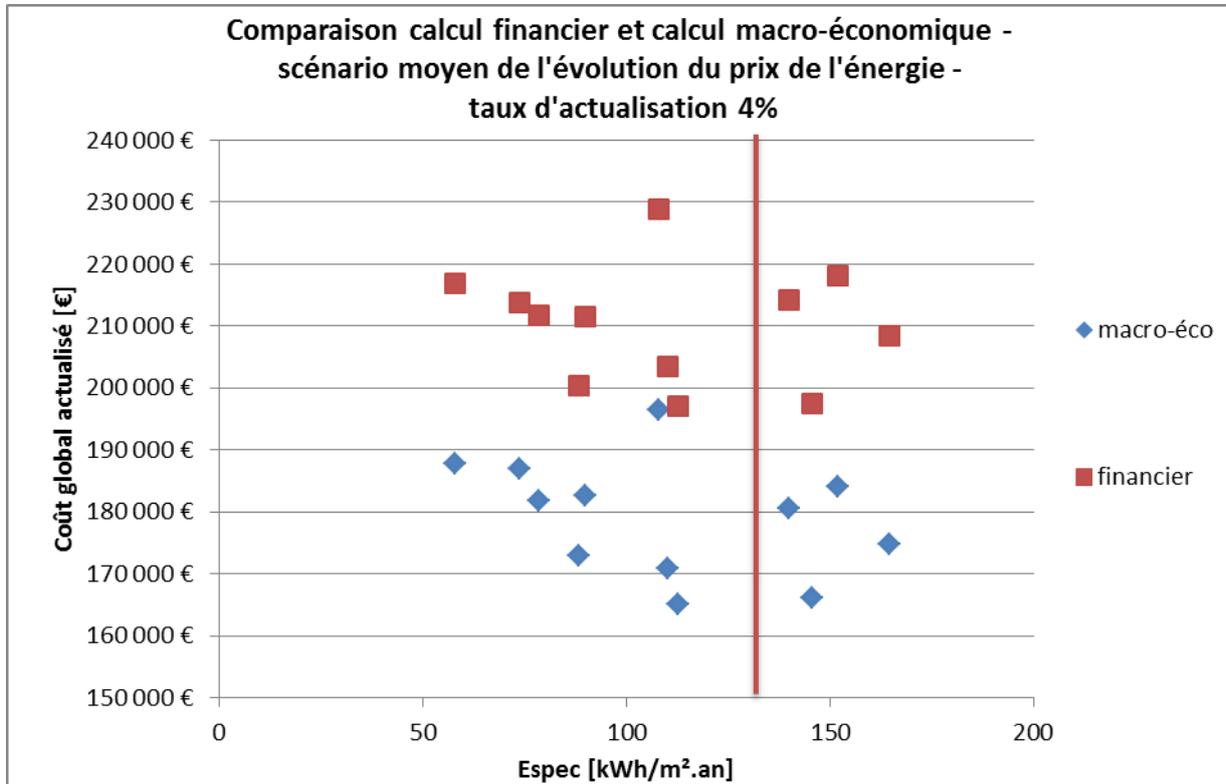
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du Espec



Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du Espec



Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du Espec



CO-ZEB

RAPPORT FINAL DU PROJET (6) RESULTATS POUR LES BATIMENTS DESTINES A L'ENSEIGNEMENT

JUIN 2013

*Pour le compte du
Département de l'Energie et du Bâtiment durable
SPW-DGO4*



Sommaire

1. Bâtiments destinés à l'enseignement existants	6
EE1 – Petite école de campagne	6
EE2 – Grande école de type « athénée »	16
2. Résultats globaux pour les bâtiments destinés à l'enseignement existant	24
Bâtiment destiné à l'enseignement « GLOBAL » existant.....	25
3. Bâtiment destiné à l'enseignement neuf	28
EN – Ecole neuve	28
4. Conclusions.....	35
5. ANNEXES.....	36
Graphiques supplémentaires EE1	36
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé	36
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	36
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	37
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé	37
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	38
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	38
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé	39
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé du U de la fenêtre.....	39
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé du U du toit.....	40
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé	40

Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé du U de la fenêtre	41
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé du U du toit	41
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres seules) : coût global actualisé du U de la fenêtre.....	42
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit) : coût global actualisé du U de la fenêtre	42
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit+murs) : coût global actualisé du U de la fenêtre.....	43
Graphiques supplémentaires EE2	43
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé	43
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	44
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	44
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé	45
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre	45
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit	46
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé	46
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé du U de la fenêtre.....	47
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé du U du toit.....	47
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé	48
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé du U de la fenêtre	48
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé du U du toit	49
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres seules) : coût global actualisé du U de la fenêtre.....	49

Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit) : coût global actualisé du U de la fenêtre	50
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit+murs) : coût global actualisé du U de la fenêtre.....	50
Bâtiment GLOBAL EXISTANT.....	51
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du niveau K.....	51
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction du U vitrage	51
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	52
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre	52
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K.....	53
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre	53
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre	54
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre	54
Graphiques supplémentaires EN.....	55
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie : comparaison niveau d'isolation pour les systèmes de chauffages - Espec en fonction du coût global actualisé	55
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie : comparaison des systèmes de chauffage au mazout et au gaz naturel avec et sans panneaux photovoltaïques - Espec en fonction du coût global actualisé	55
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : Espec en fonction du coût global actualisé pour les mesures/groupes/variantes de performances 2014.....	56
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, évolution du coût de l'énergie : Espec en fonction du coût global actualisé pour les mesures/groupes/variantes de performances « passif ».....	56

1. Bâtiments destinés à l'enseignement existants

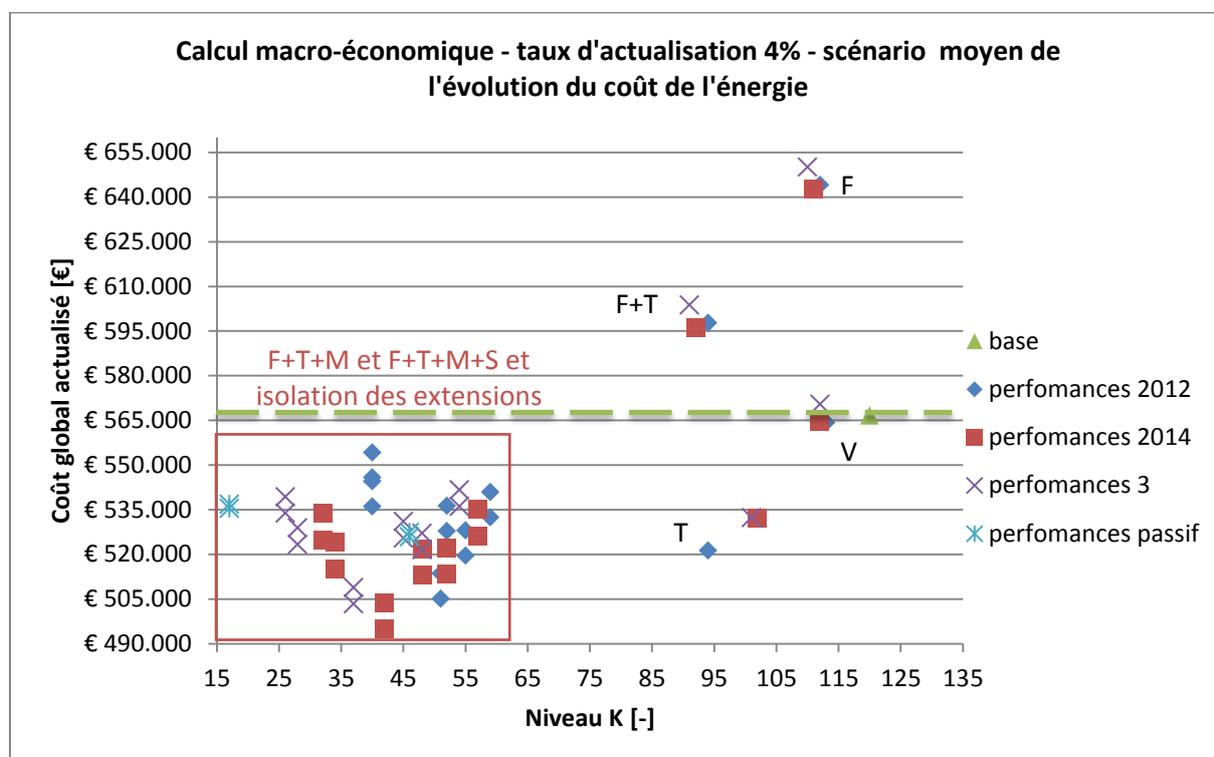
EE1 – Petite école de campagne

Les graphiques suivants sont réalisés pour une des parois de déperdition (vitrage, fenêtre ou toiture) qui est, elle-même, combinée avec d'autres parois et ce, pour chacune des caractéristiques thermiques prédéfinies.

De plus, cette analyse des résultats comporte deux parties : la première traite les mesures/groupes/variantes relatifs aux bâtiments principaux uniquement et la seconde traite les mesures/groupes/variantes relatifs à ces bâtiments ainsi qu'aux extensions construites plus tard.

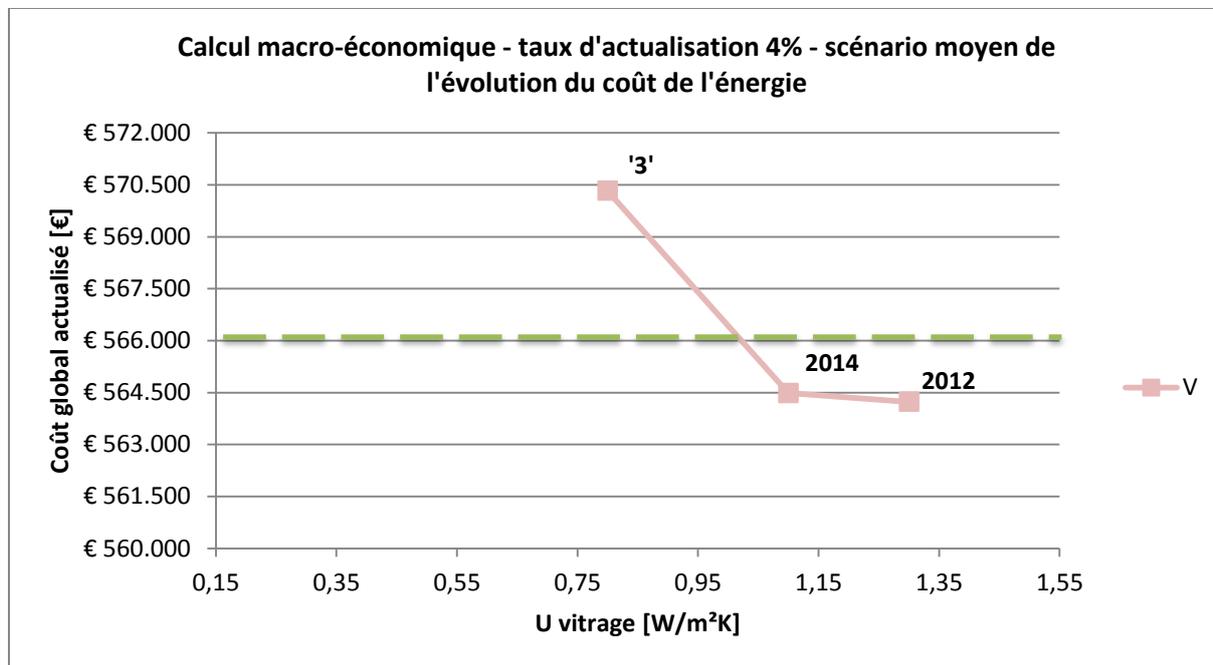
BÂTIMENT PRINCIPAL

Le Graphique 1 permet de situer le bâtiment destiné à l'enseignement de référence « base » par rapport aux autres mesures/groupes/variantes étudiées. Le niveau K de l'habitation de « base » est le plus élevé (niveau K 120) et son coût global actualisé est plus élevé par rapport à la plupart des autres mesures/groupes/variantes étudiées. Ces dernières ont souvent un coût global actualisé inférieur à celui relatif au bâtiment de référence et un niveau K plus faible. Sur le graphique, il est possible de distinguer deux zones : la première (à droite) regroupe les écoles dont le niveau K est supérieur à 85 et la seconde (à gauche) regroupe celles de niveau K inférieur à 65. Ces deux zones résultent des mesures/groupes/variantes étudiées : dans la première, les murs extérieurs ne sont pas isolés contrairement à la seconde zone.



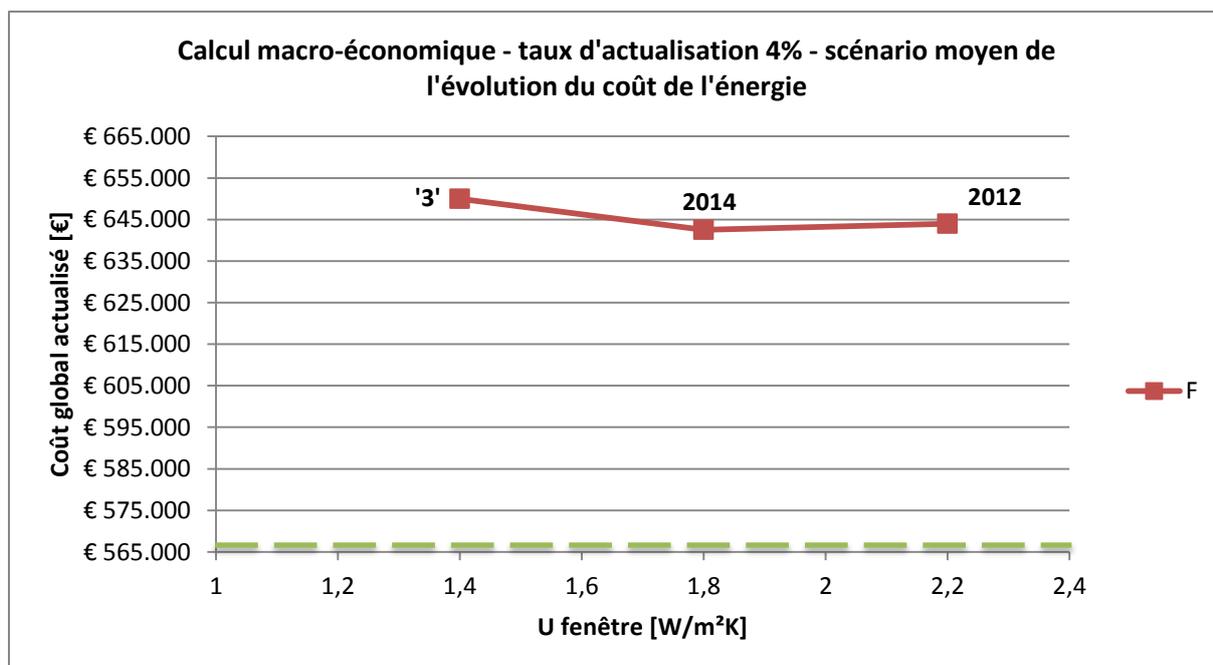
L'évolution du coût global lorsque de nouveaux vitrages aux caractéristiques thermiques de 2012 ($U_g=1.3W/m^2K$), de 2014 ($U_g=1.1W/m^2K$) ou '3' ($U_g=0.8W/m^2K$) sont placés est illustré sur le

graphique ci-dessous. Dans ce cas, il n'est pas possible déterminer un optimum. La seule remarque est que plus le vitrage placé est performant, plus le coût global augmente. En effet, il augmente d'environ 6.095 € pour un budget total de 564.233 € (cas 2012).



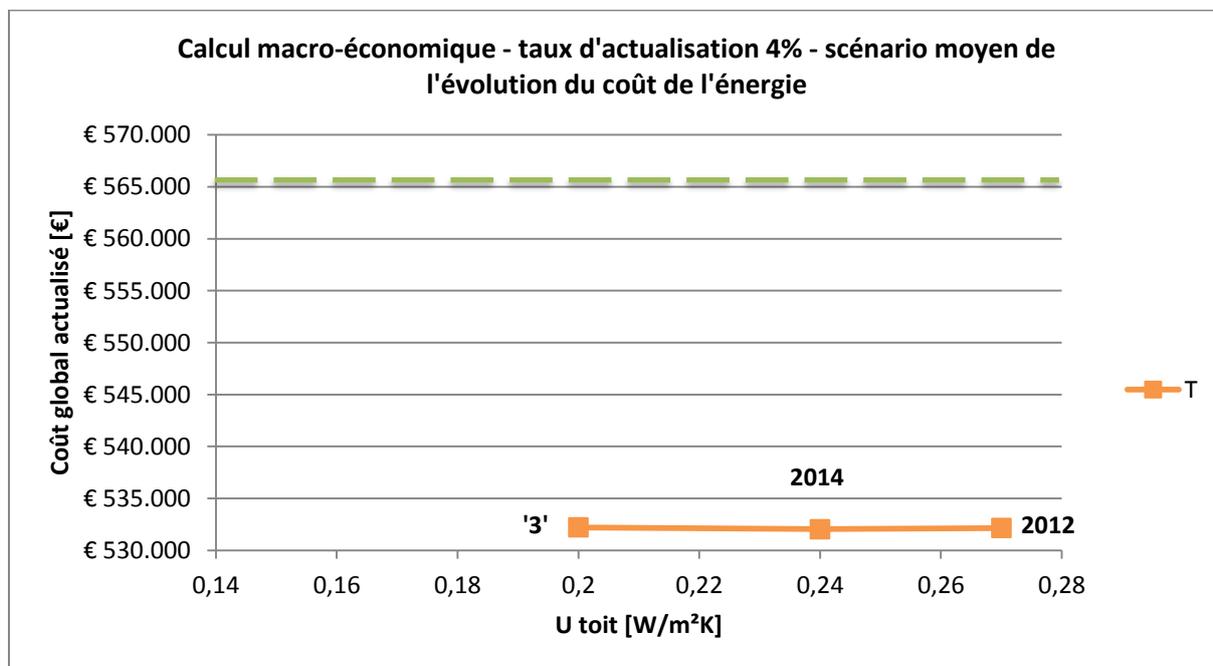
Graphique 2 : EE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U du vitrage en fonction du coût global actualisé (V)

Par contre, l'optimum peut être observé lors du remplacement des fenêtres : il correspond aux caractéristiques thermiques de 2014. Toutefois, les coûts sont relativement constants pour les deux autres caractéristiques thermiques.



Graphique 3 : EE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U de la fenêtre en fonction du coût global actualisé (F)

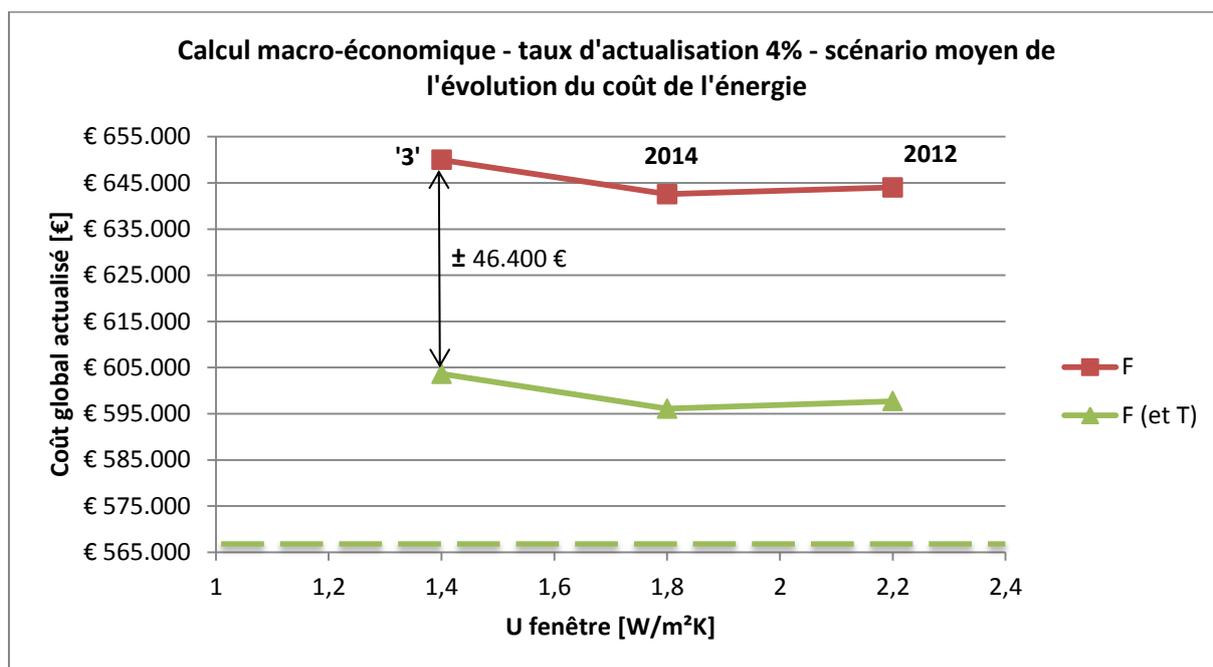
Le Graphique 4 représente l'évolution du coût global lorsqu'une nouvelle isolation de toiture est mise en œuvre. Il existe un optimum très peu marqué ; il s'agit des mesures/groupes/variantes de performances 2014. En effet, l'écart entre les coûts globaux actualisés est de l'ordre de 50 €. Contrairement au graphique précédent, le coût global actualisé des trois mesures/groupes/variantes est inférieur au coût global actualisé de l'école de base (sans modification des caractéristiques thermiques de l'enveloppe). Il s'agit donc d'un investissement rentable.



Graphique 4 : EE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U du toit en fonction du coût global actualisé (T)

Le Graphique 5 compare :

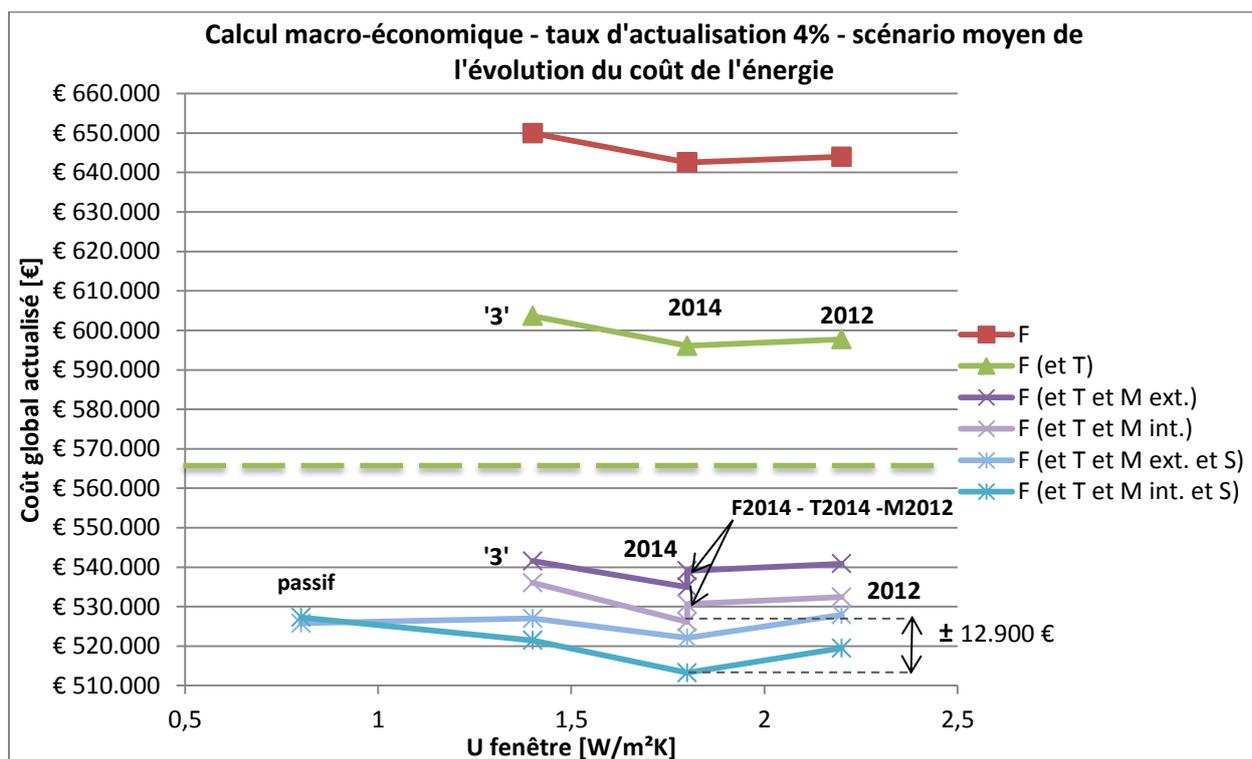
- l'évolution du coût global lors du remplacement de nouvelles fenêtres uniquement avec ;
- l'évolution du coût global lors du remplacement de nouvelles fenêtres et d'une nouvelle isolation de la toiture.



Graphique 5 : EE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U de la fenêtre en fonction du coût global actualisé (F | F et T)

L'optimum observé correspond au remplacement des fenêtres et l'isolation de la toiture dont les caractéristiques thermiques sont celles prévues pour 2014 (dont le coût global actualisé est d'environ 596.100€). Il est plus intéressant de remplacer les fenêtres et d'isoler la toiture : ces mesures/groupes/variantes ont un coût global actualisé moins élevé de 46.400 € environ. Ainsi, malgré que l'investissement de départ soit plus important dans le cas de la combinaison fenêtres et toit, l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans compense cet investissement et ce, contrairement au cas du remplacement des fenêtres uniquement. Cette conclusion est sans doute la conséquence des caractéristiques géométriques du bâtiment : la surface de la toiture est proche de celle des fenêtres.

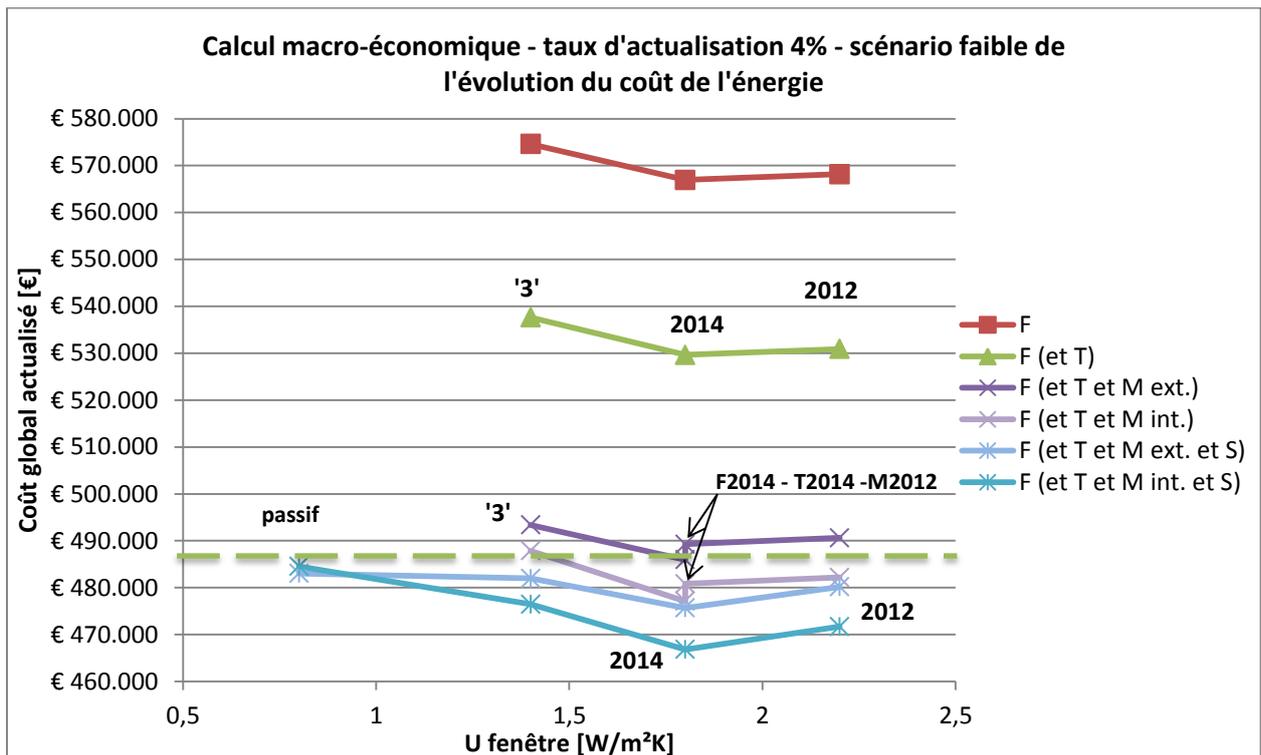
Le Graphique 6 illustre toutes les combinaisons réalisées (mesures-groupes-variantes) selon le U_w de la fenêtre. L'optimum général correspond à une isolation complète de l'immeuble : fenêtres 2014, toiture 2014 et murs (isolés par l'intérieur) 2014. Le coût global s'élève à 513.234 €. En poussant l'isolation jusqu'au passif pour ces parois, le coût global augmente de 14.000 € par rapport à l'optimum. L'école qui est entièrement isolé selon les caractéristiques thermiques de 2014 à l'exception du sol (fenêtres 2014, toiture 2014 et murs isolés par l'extérieur 2014) voit son coût global augmenter de 12.900 €.



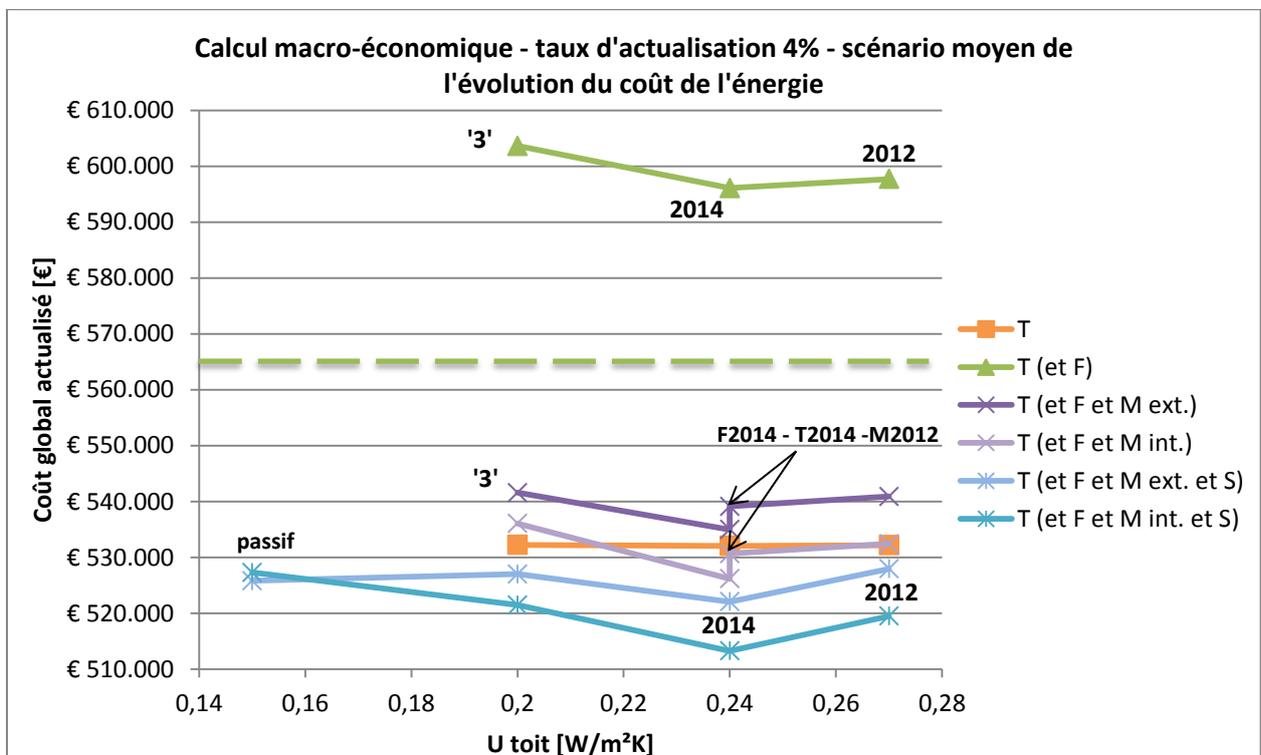
Graphique 6 : EE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U de la fenêtre en fonction du coût global actualisé (F|F et T|F et T et M|F et T et M et S)

De plus, ce graphique montre que remplacer les fenêtres OU remplacer les fenêtres et isoler la toiture présente un coût global plus élevé. Par ailleurs, il est moins intéressant d'isoler les murs par l'extérieur (courbes mauve foncée et mauve claire) que par l'intérieur.

Le Graphique 217 présente les résultats pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario **faible** d'évolution du coût de l'énergie, selon le U_w de la fenêtre. L'optimum, plus marqué, est toujours identique à celui du graphique précédent.



Graphique 7 : EE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie : U de la fenêtre en fonction du coût global actualisé (F|F et T|F et T et M|F et T et M et S)



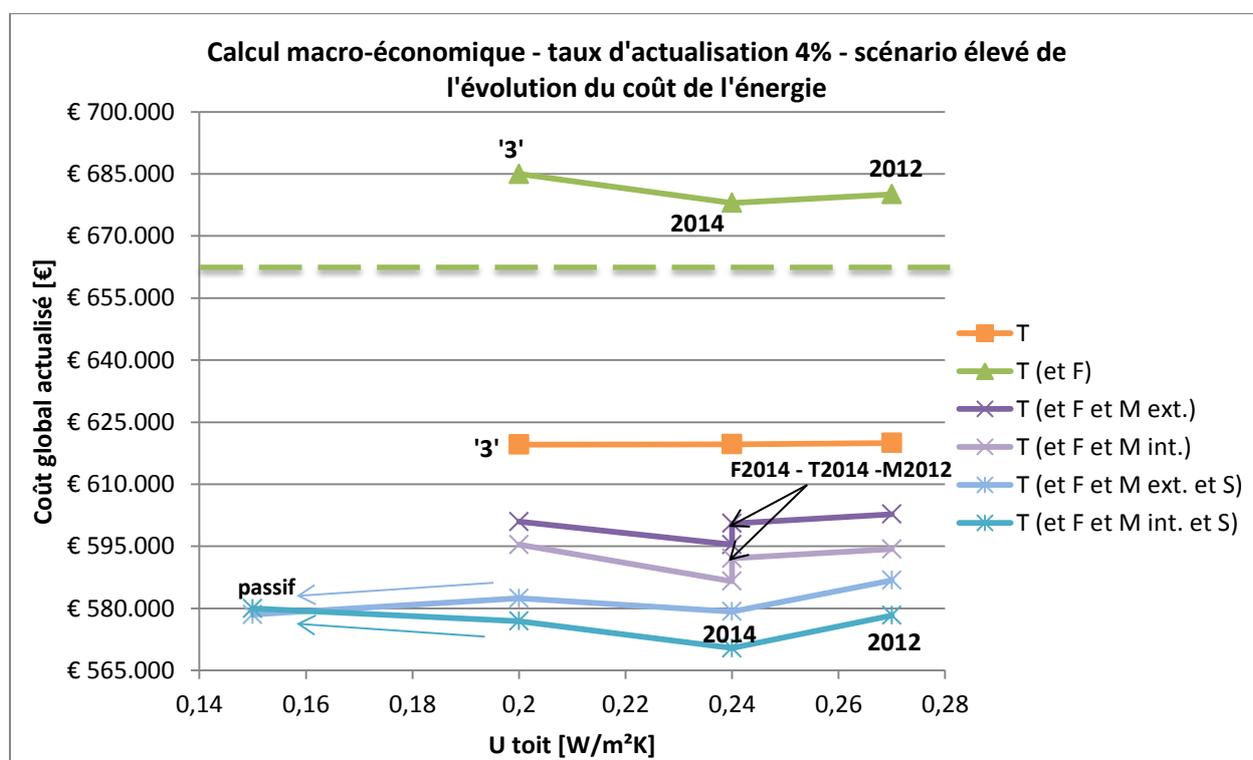
Graphique 8 : EE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U du toit en fonction du coût global actualisé (T|T et F|T et F et M|T et F et M et S)

Le Graphique 8 représente les variantes étudiées selon le U de la toiture (axe des abscisses) pour un scénario moyen du coût de l'énergie. Isoler la toiture combinée au remplacement des fenêtres est la mesure/groupe/variante qui expose les coûts globaux actualisés les plus élevés. Quant à l'optimum,

il est toujours identique aux graphiques précédents. Par ailleurs, une isolation complète du bâtiment permet d'obtenir des coûts globaux plus faibles (courbes bleue claire et bleue foncée). Si le sol n'est pas isolé (les deux courbes mauves), alors il est préférable d'isoler uniquement la toiture étant donné que son coût global est similaire à ceux des deux courbes mauves.

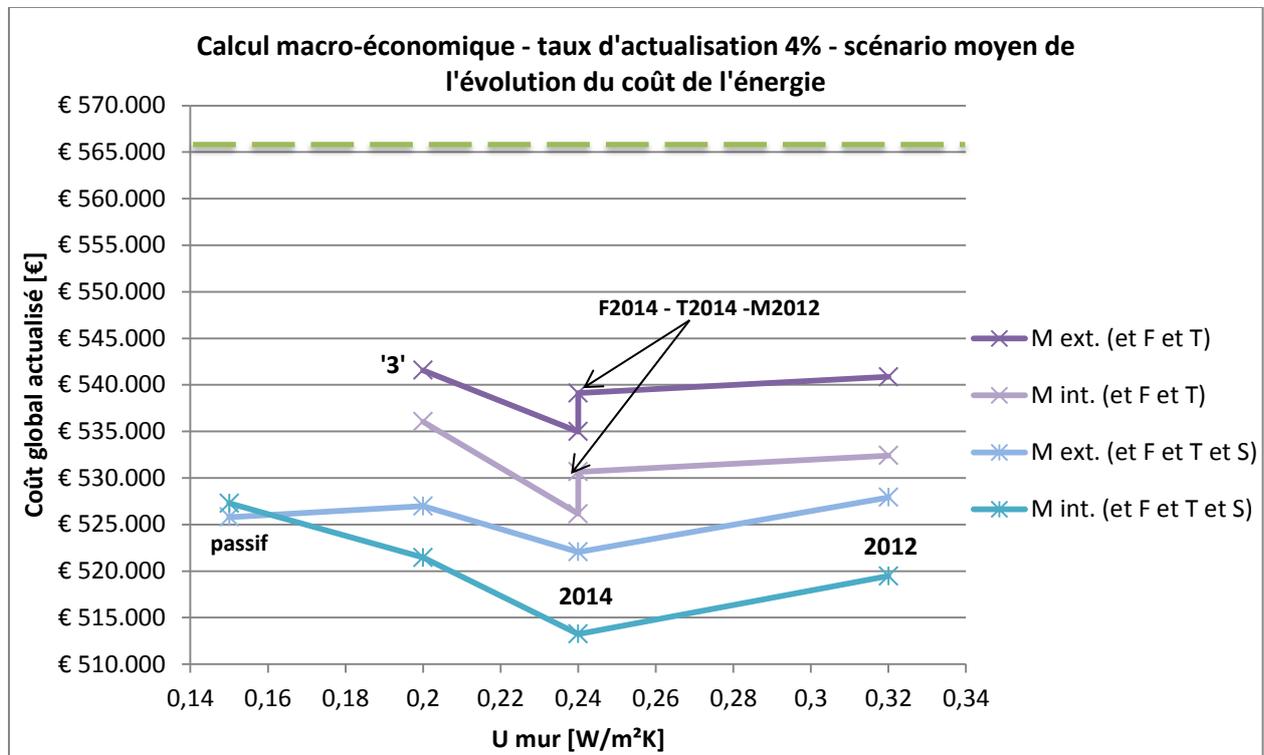
Pour le scénario **élevé** d'évolution du coût de l'énergie (évolution de 3,5%), l'optimum est identique (Graphique 9) : il correspond à une isolation complète de d'un bâtiment destiné à l'enseignement selon les caractéristiques thermiques de 2014 : fenêtres 2014, toiture 2014, murs isolés par l'intérieure 2014 et sol 2014.

L'isolation de type passive des courbes bleues (claire et foncée) tendent de plus en plus vers le bas, c'est-à-dire vers l'optimum.

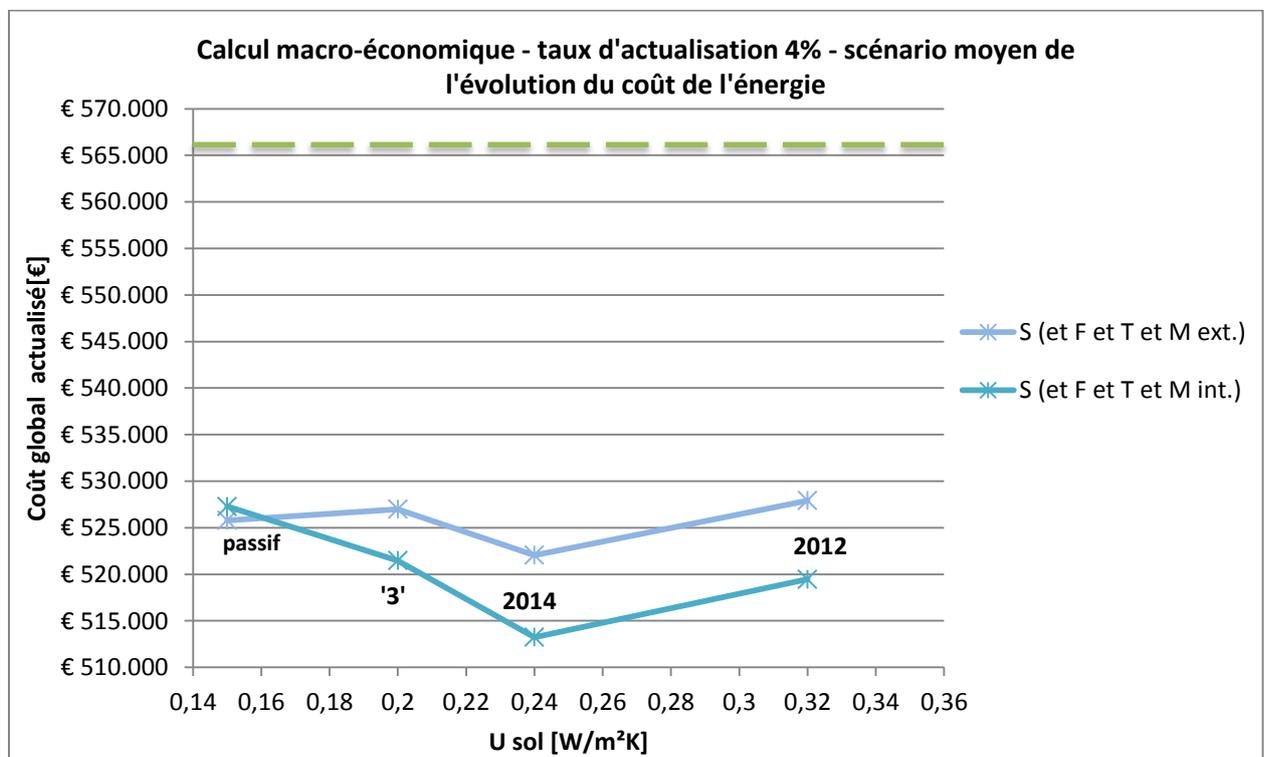


Graphique 9 : EE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie : U du toit en fonction du coût global actualisé (T|T et F|T et F et M|T et F et M et S)

Le Graphique 2410 et le Graphique 25 présentent les résultats respectivement pour le U des murs et le U du sol.

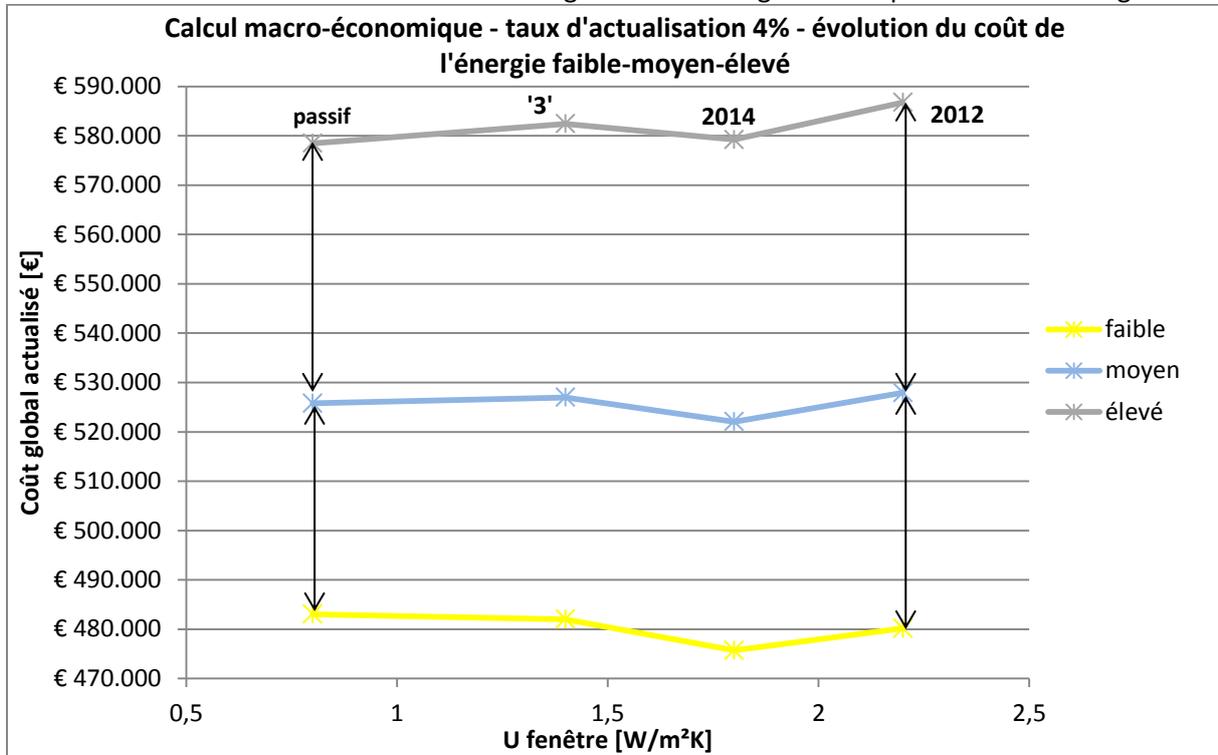


Graphique 10: EE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U du mur en fonction du coût global actualisé (M et F et T | M et F et T et S)

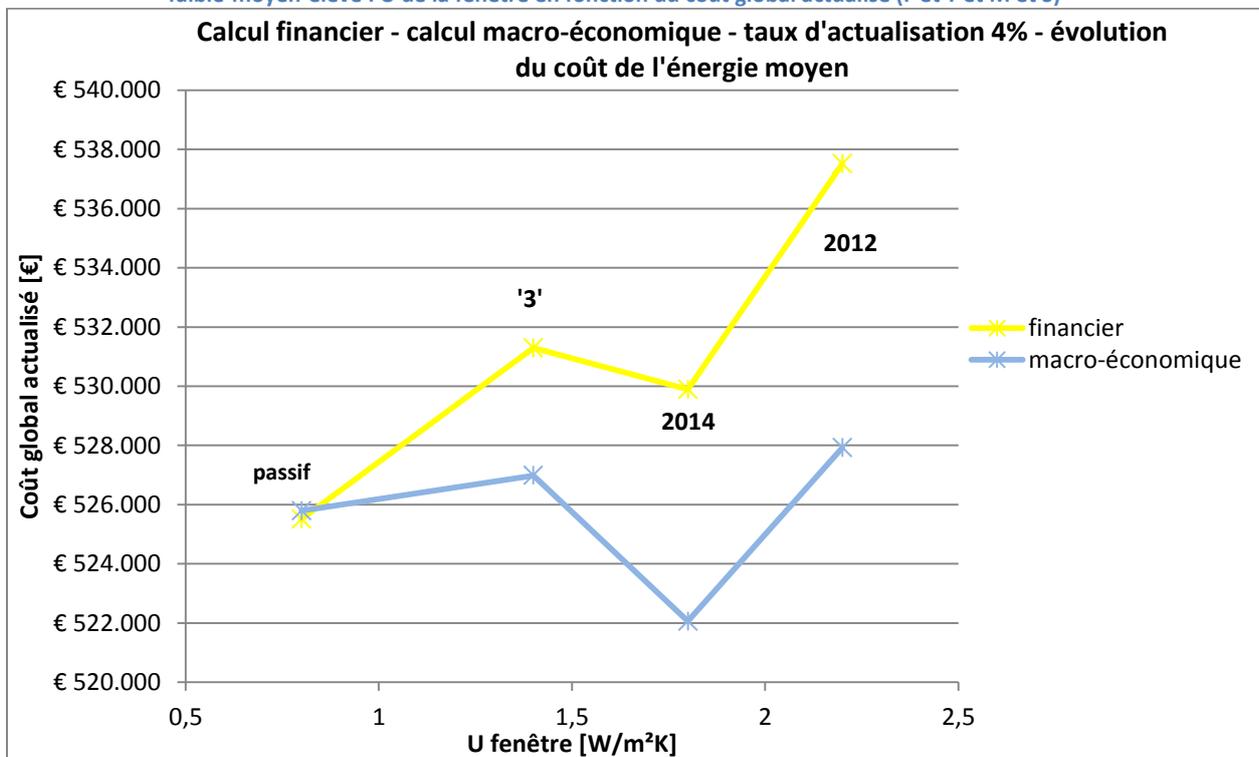


Graphique 11 : EE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U du sol en fonction du coût global actualisé (S et F et T et M)

Le graphique ci-dessous illustre le coût global actualisé en fonction du U_w de la fenêtre pour une isolation complète du bâtiment selon trois scénarios d'évolution du coût de l'énergie (faible, moyen, élevé). Plus le coût de l'énergie est élevé, plus le coût global est élevé. Toutefois, les écarts relatifs entre les scénarii d'évolution du coût de l'énergie diminuent légèrement quand l'isolation augmente.



Graphique 12 : EE1 - calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - évaluation du coût de l'énergie faible-moyen-élevé : U de la fenêtre en fonction du coût global actualisé (F et T et M et S)



Graphique 13 : EE1 - comparaison calcul financier et calcul macro-économique – taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U de la fenêtre en fonction du coût global actualisé (F et T et M et S)

Le graphique ci-dessous permet de comparer le calcul financier et le calcul macro-économique pour un taux d'actualisation de 4 % et un scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie pour une isolation complète du bâtiment.

Pour toutes les mesures/groupes/variantes, le coût global est plus élevé pour le calcul financier.

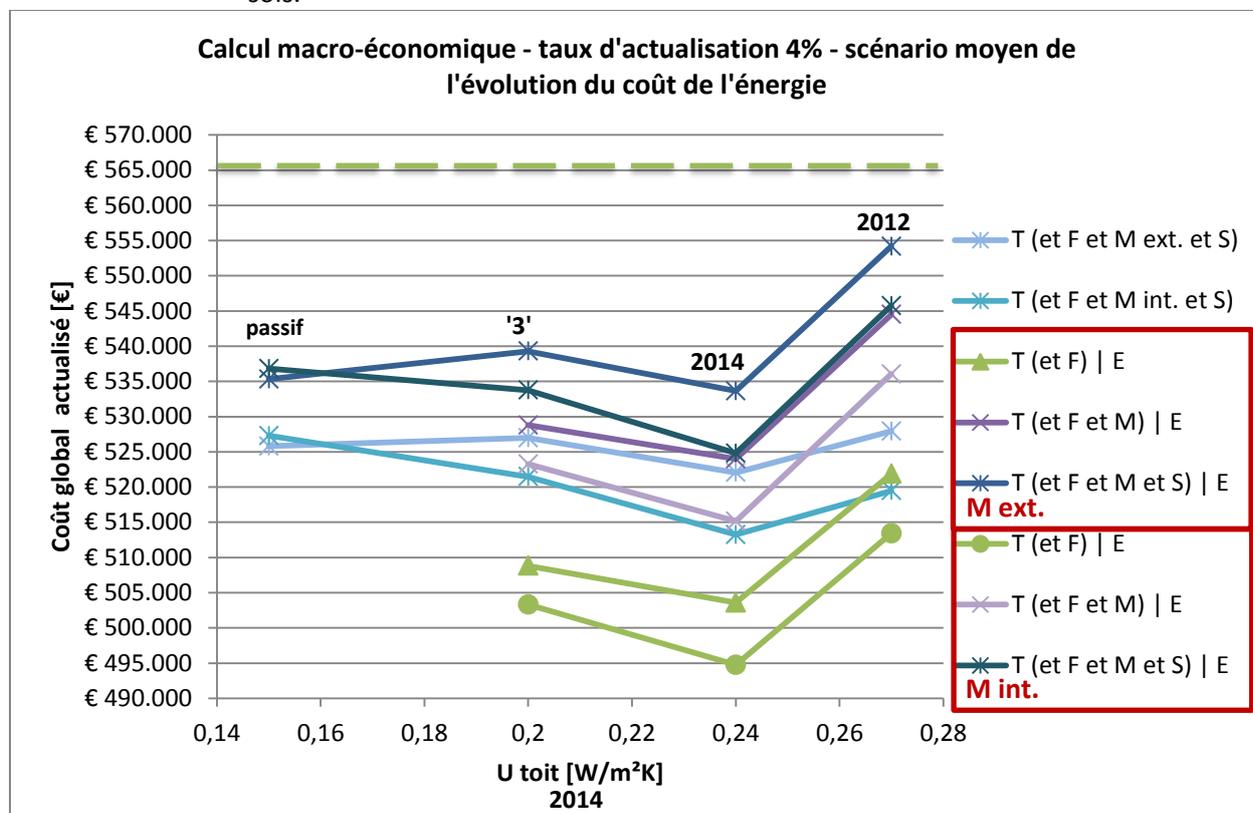
BÂTIMENT PRINCIPAL ET ANNEXE

Le Graphique 14 illustre toutes les combinaisons réalisées en fonction du U du toit des extensions quand les bâtiments principaux sont isolés. Les mesures inscrites dans la légende du graphique concernent :

- celles des bâtiments principaux (aucune mesure ne porte sur les extensions) :
 - o soit le remplacement des fenêtres, l'isolation du toit, l'isolation des murs par l'extérieur et l'isolation du plancher/sol (courbe bleue claire);
 - o soit le remplacement des fenêtres, l'isolation du toit, l'isolation des murs par l'intérieur et l'isolation du plancher/sol (courbe bleue plus foncée).
- celles des extensions (annoté par la lettre « E » sur le graphique) pour lesquels les bâtiments principaux présentent :
 - o soit le remplacement des fenêtres, l'isolation du toit, l'isolation des murs par l'extérieur et l'isolation du plancher/sol;
 - o soit le remplacement des fenêtres, l'isolation du toit, l'isolation des murs par l'intérieur et l'isolation du plancher/sol.

Les mesures des extensions portent (cadres rouges dans la légende) :

- o soit sur le remplacement des fenêtres et l'isolation des toitures ;
- o soit sur le remplacement des fenêtres et l'isolation des toitures et des murs ;
- o soit sur le remplacement des fenêtres et l'isolation des toitures, des murs et des sols.



Graphique 14 : EE1 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U du toit (annexe comprise) en fonction du coût global actualisé (T|T et F|T et F et M|T et F et M et S)

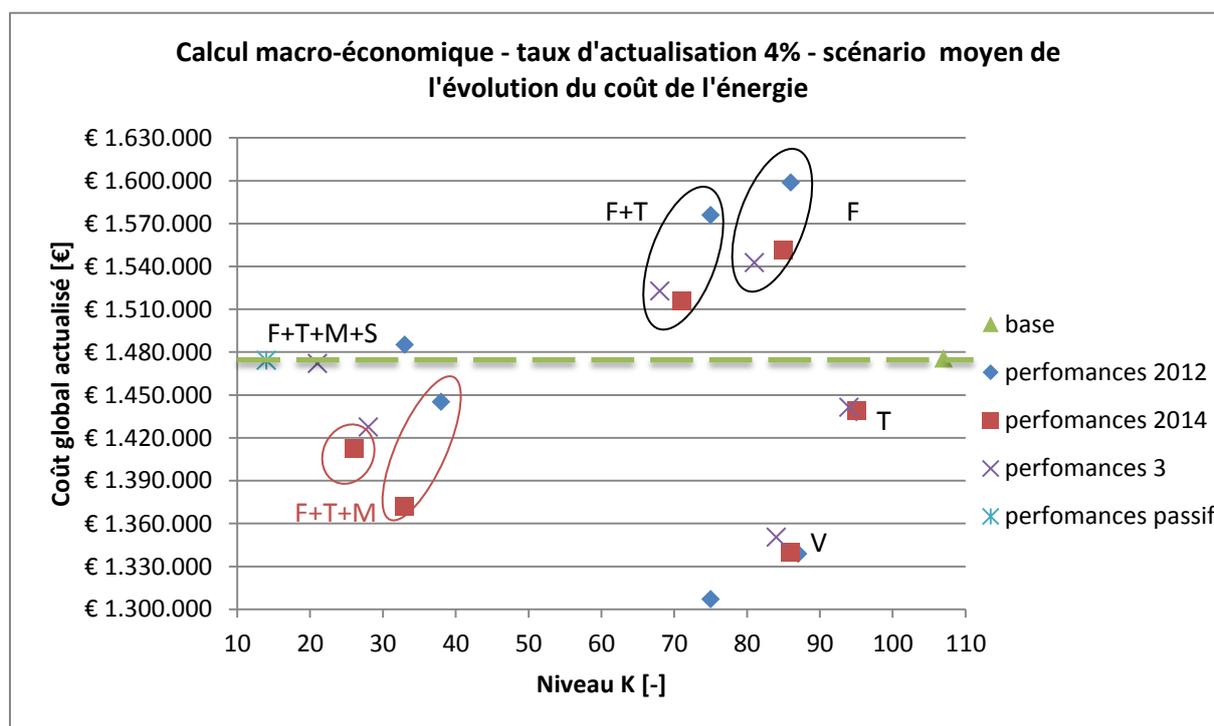
L'optimum général correspond à l'isolation complète des bâtiments principaux (murs isolés **par l'intérieur**) et au remplacement des fenêtres combiné à l'isolation de la toiture de l'annexe, le tout selon les caractéristiques thermiques de 2014 : fenêtres 2014 et toiture 2014 (courbe verte avec un marqueur rond). De plus, d'une manière générale, on constate que le coût global actualisé est plus élevé pour une isolation complète des extensions ET des bâtiments principaux que pour une isolation complète des bâtiments principaux uniquement. La raison est probablement que les extensions étant déjà isolées dans leur état d'origine, il coûte très cher de les isoler par rapport à l'économie d'énergie engendrée.

EE2 – Grande école de type « athénée »

Cette école est analysée de façon similaire au bâtiment précédent.

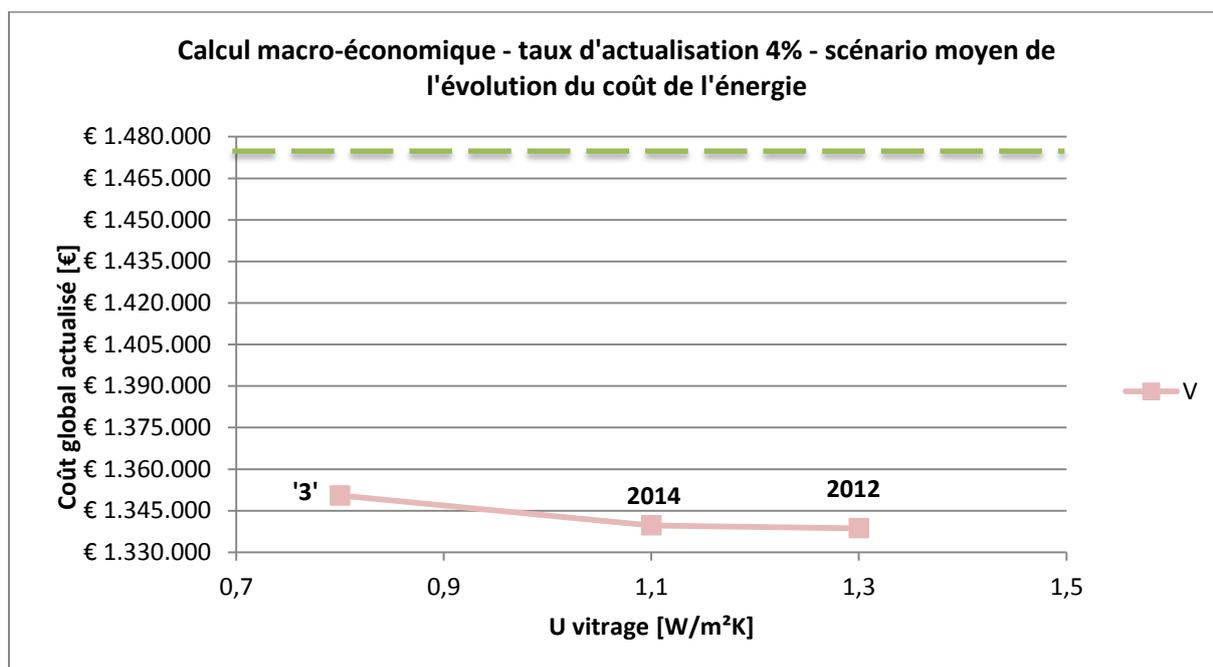
Le coût global actualisé en fonction du niveau K est illustré par le graphique ci-dessous. Ce dernier situe le bâtiment destiné à l'enseignement de référence (avant travaux de rénovation), appelé « base », par rapport aux bâtiments destinés à l'enseignement présentant des mesures/groupes/variantes différents (après travaux de rénovation).

Le niveau K du cas de « base » est le plus élevé, sa valeur est de 107. Par ailleurs, il présente un des coûts globaux actualisés les plus importants. Le coût global actualisé le plus faible correspond à un bâtiment destiné à l'enseignement dont les vitrages sont remplacés selon les caractéristiques thermiques de 2014.



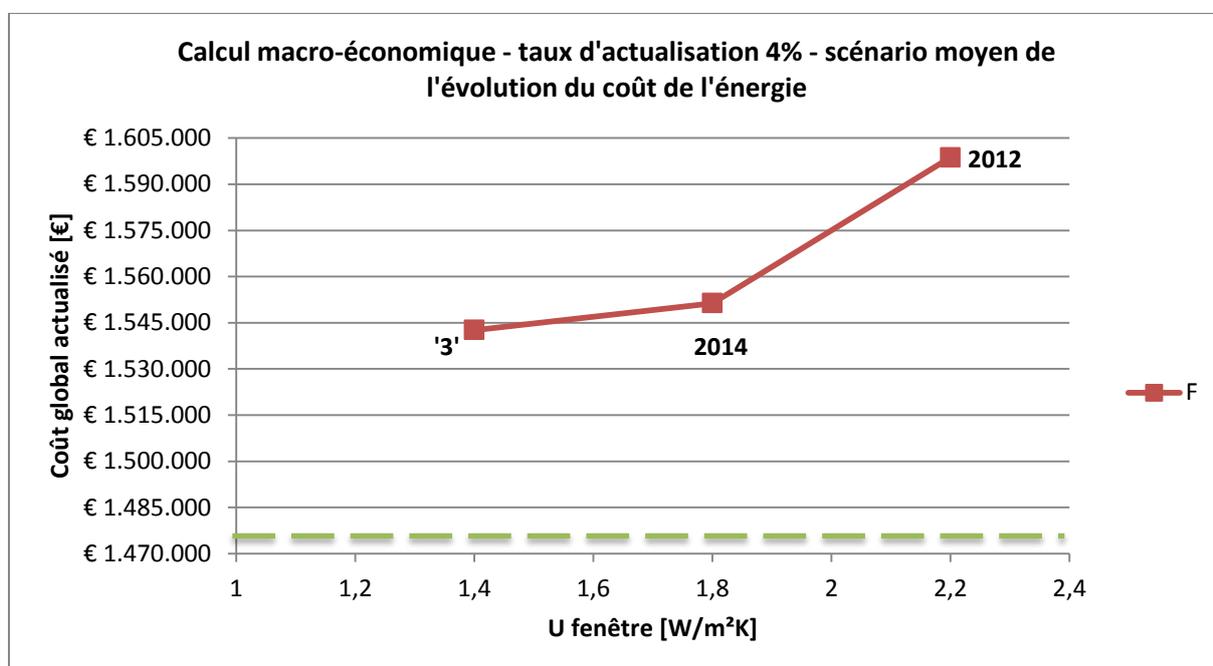
Graphique 15: EE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : niveau K en fonction du coût global actualisé

L'évolution du coût global lorsque de nouveaux vitrages aux caractéristiques thermiques de 2012 ($U_g=1.3W/m^2K$), de 2014 ($U_g=1.1W/m^2K$) ou '3' ($U_g=0.8W/m^2K$) sont placés est illustré dans le graphique ci-dessus. Dans ce cas, il n'est pas possible déterminer un optimum. La seule remarque est que plus le vitrage placé est performant, plus le coût global augmente. En effet, il augmente d'environ 11.808 € sur un budget total de 1.338.664 €.



Graphique 16 : EE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U du vitrage en fonction du coût global actualisé (V)

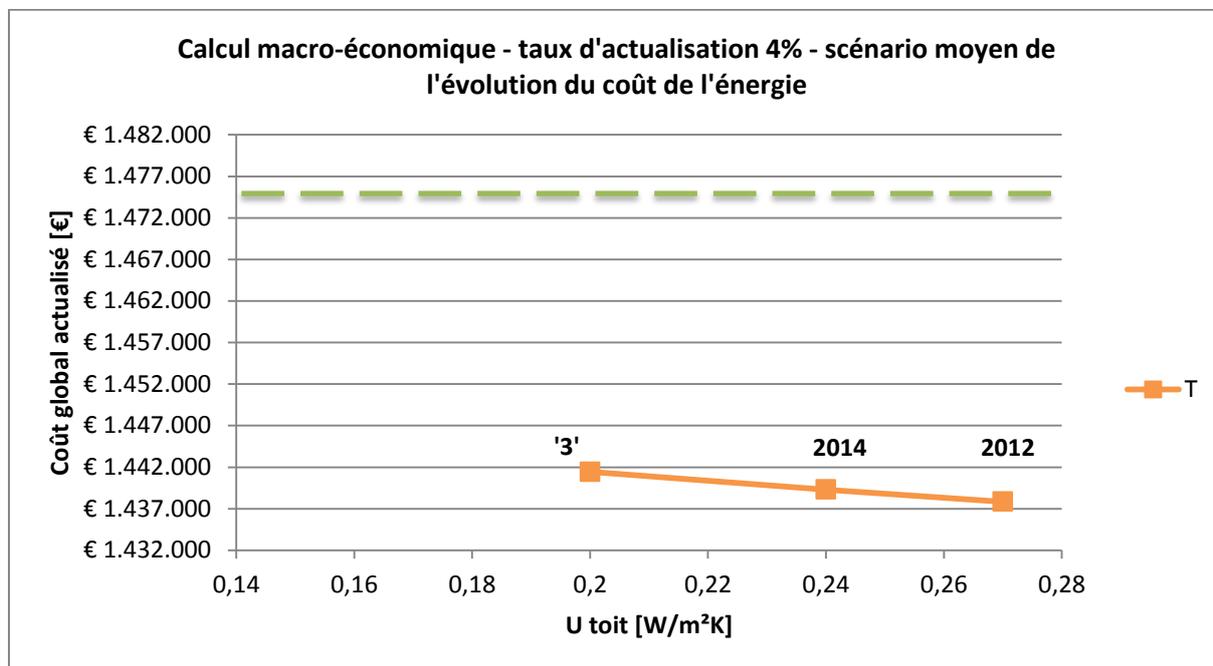
Un optimum n'est pas observé lors du remplacement des fenêtres. Contrairement au graphique précédent, plus la fenêtre placée est performante, plus le coût global diminue. Ainsi, le prix à l'investissement de la fenêtre de type « 2012 » est trop élevé par rapport aux gains énergétiques réalisés sur 30 ans.



Graphique 17 : EE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U de la fenêtre en fonction du coût global actualisé (F)

Le Graphique 18 représente l'évolution du coût global lorsqu'une nouvelle isolation de toiture est mise en œuvre. Plus l'épaisseur d'isolant augmente, plus le coût global augmente (cas '3') mais pas de manière significative (environ 3.588 € pour un budget total de 1.437.843 € pour les performances

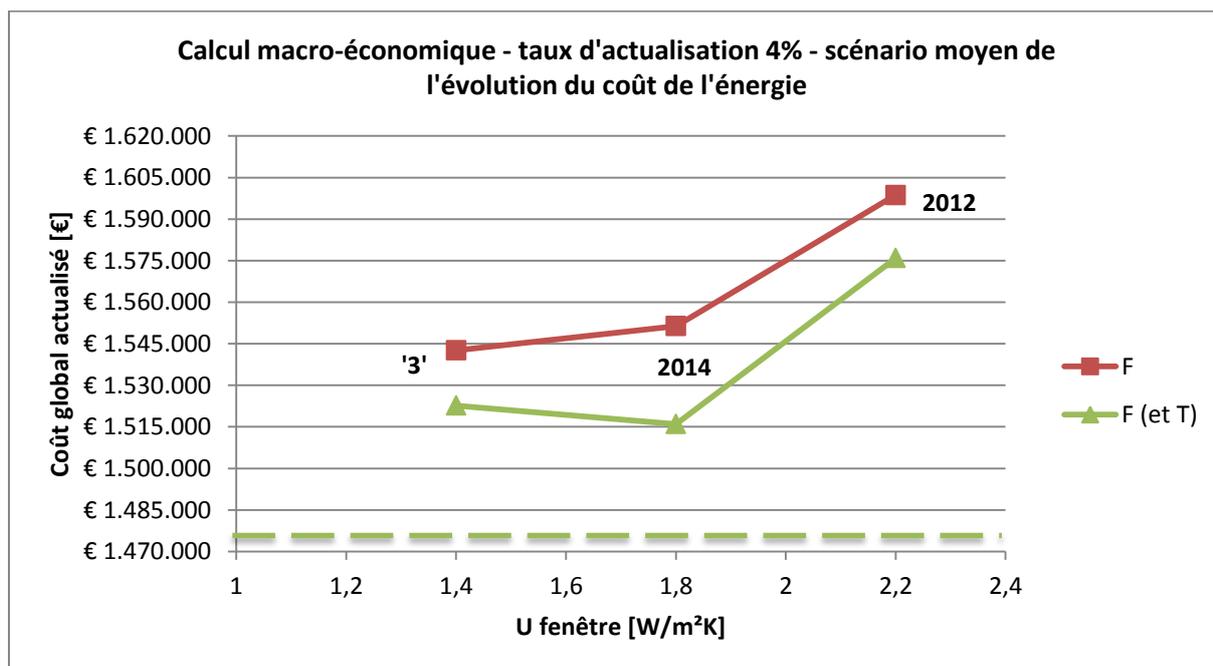
de 2012). Les coûts relatifs aux cas « 2012 » et 2014 » sont sensiblement constants (différence de 1.460 €). Il est donc difficile de parler d'optimum étant donné qu'il présente une différence de coût global actualisé d'à peine 1 %. Ainsi, tant qu'à isoler la toiture, autant aller le plus loin possible.



Graphique 18 : EE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U de la toit en fonction du coût global actualisé (T)

Le Graphique 19 compare :

- l'évolution du coût global lors de l'installation de nouvelles fenêtres uniquement avec ;
- l'évolution du coût global lors du placement de nouvelles fenêtres et d'une nouvelle isolation de la toiture.

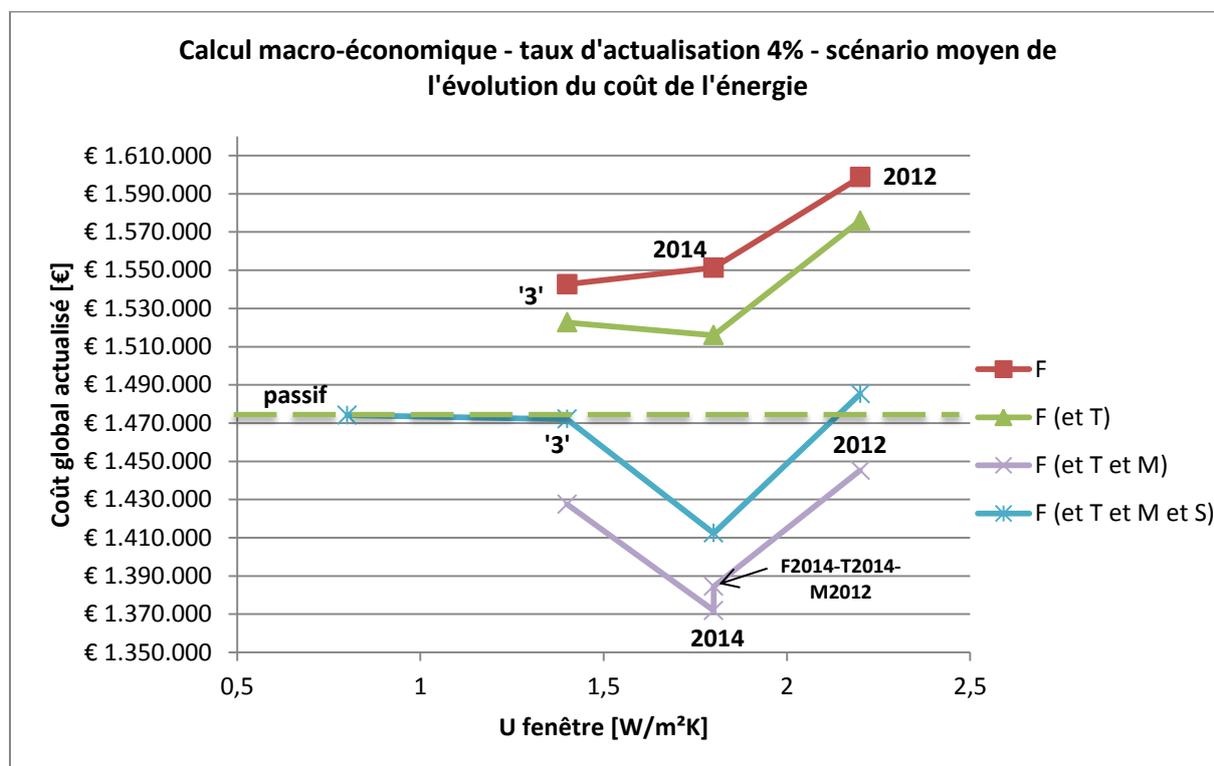


Graphique 19 : EE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U de la fenêtre en fonction du coût global actualisé (F|F et T)

L'optimum observé correspond au placement de nouvelles fenêtres et d'une nouvelle isolation de la toiture de type « 2014 ». L'écart entre le coût global pour les fenêtres seules et celui pour la combinaison fenêtres et toiture s'élève à 35.354 € par rapport au coût investit (environ 1.551.353 €). Ainsi, malgré que l'investissement de départ soit plus important dans le cas de la combinaison fenêtres et toit, l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans compense cet investissement et ce, en comparaison au cas du remplacement des fenêtres uniquement. Néanmoins, le coût global actualisé des six mesures/groupes/variantes est supérieur au coût global actualisé de l'école de base (sans modifications de l'enveloppe) ; l'investissement de ces mesures n'est donc pas rentable.

Le Graphique 20 illustre toutes les combinaisons réalisées en fonction du U_w de la fenêtre. L'optimum général correspond à la combinaison du remplacement des fenêtres avec l'isolation de la toiture et des murs extérieurs selon les caractéristiques thermiques de 2014 : fenêtres 2014, toiture 2014, façades 2014 (courbe mauve). L'isolation complète du bâtiment avec les caractéristiques thermiques du passif (courbe bleue) augmente le coût global de 102.281 € par rapport à l'optimum (dont le coût global s'élève à 1.371.867 €) observé.

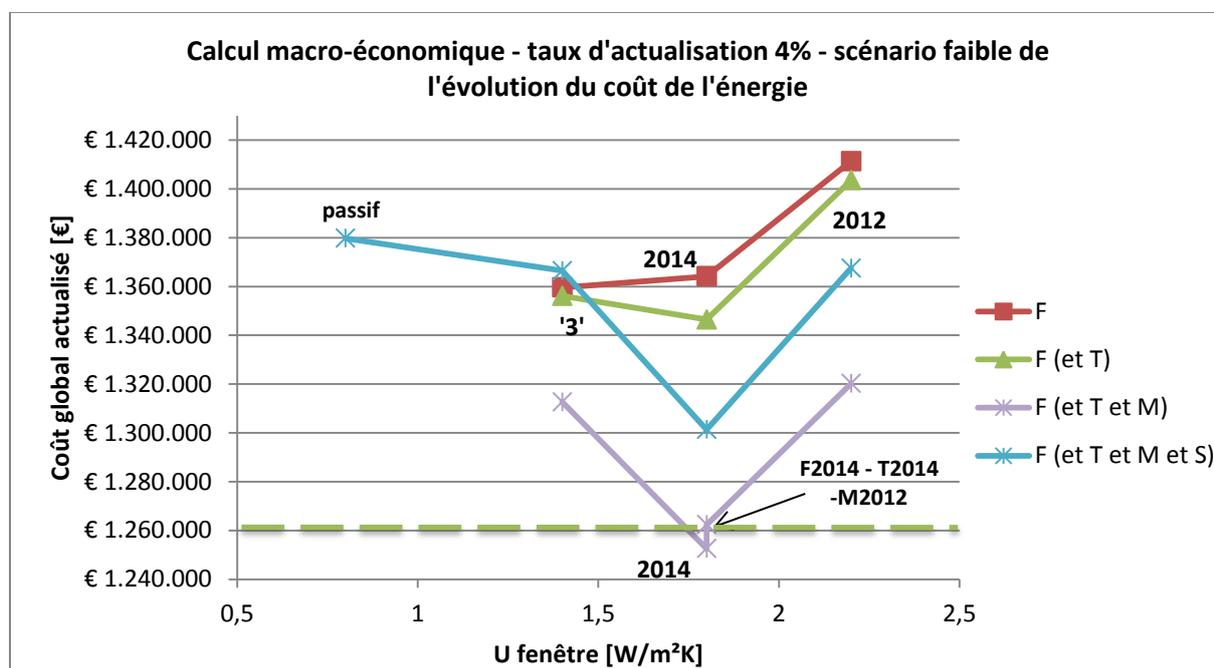
Les courbes rouge (mesures F uniquement) et verte (mesures F et T) se situent au-dessus des deux autres courbes. Ainsi, malgré que l'investissement de départ soit plus important dans le cas des deux courbes bleue et mauve, l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans compense cet investissement et ce, en comparaison aux cas du remplacement des fenêtres uniquement et de la combinaison des fenêtres et de l'isolation de la toiture. De plus, il est plus intéressant d'isoler l'ensemble des parois (F, T et M) excepté le sol.



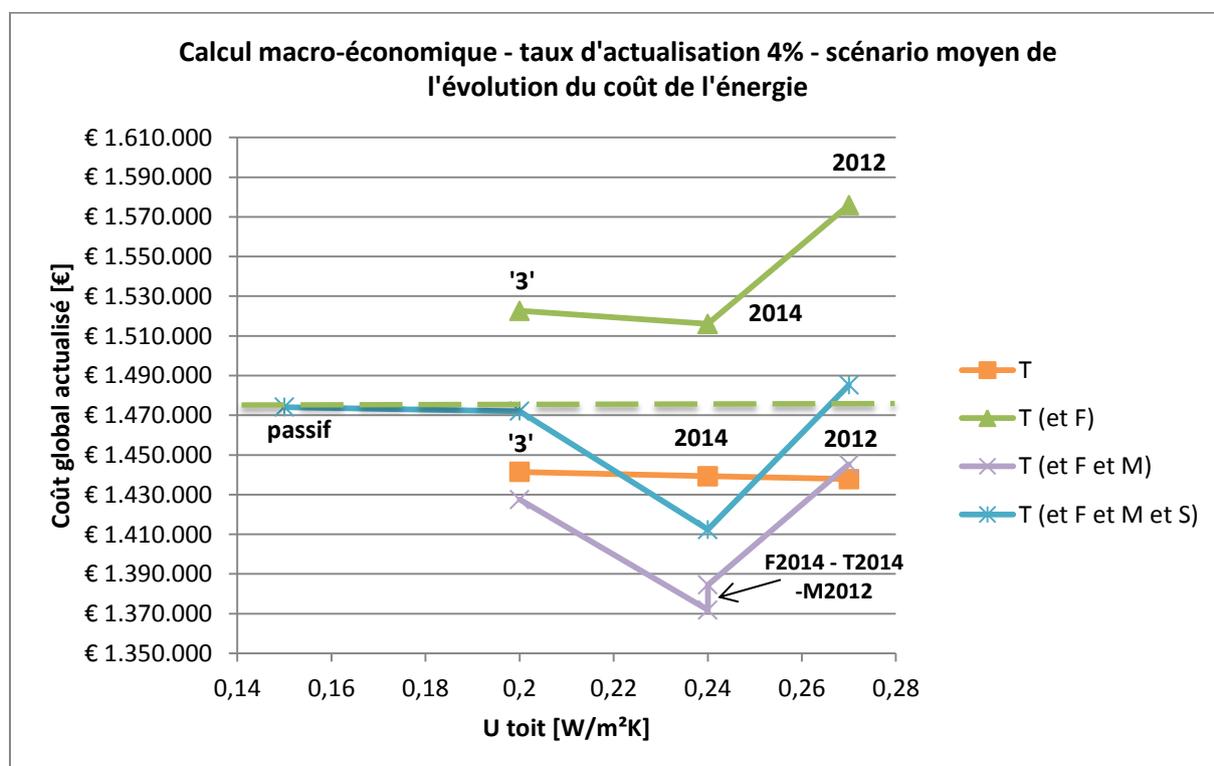
Graphique 20 : EE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U de la fenêtre en fonction du coût global actualisé (F|F et T|F et T et M|F et T et M et S)

Le Graphique 21 présente les résultats pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario **faible** d'évolution du coût de l'énergie, selon le U_w de la fenêtre. L'optimum, plus marqué, est toujours identique à celui du graphique précédent. Par contre, les courbes verte et

rouge se rapprochent des autres courbes et ne présentent donc plus un coût global actualisé nettement plus élevé.



Graphique 21 : EE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie : U de la fenêtre en fonction du coût global actualisé (F|F et T|F et T et M|F et T et M et S)



Graphique 22 : EE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U du toit en fonction du coût global actualisé (T|T et F|T et F et M|T et F et M et S)

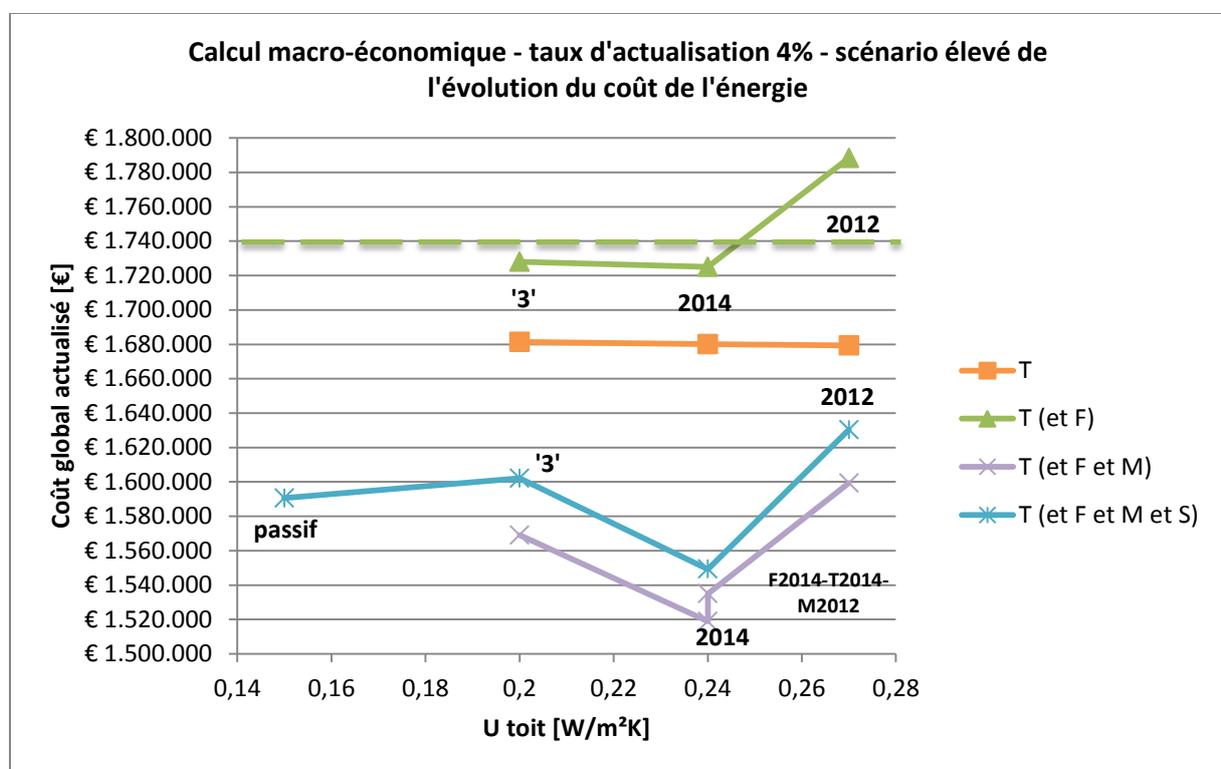
Le Graphique 22 représente les variantes étudiées selon le U de la toiture (axe des abscisses). On peut observer qu'isoler la toiture uniquement OU isoler la toiture, les murs et remplacer les fenêtres

OU isoler la toiture, les murs, le sol et remplacer les fenêtres est plus intéressant que d'isoler le toit et remplacer les fenêtres (courbe verte).

L'optimum général correspond une nouvelle fois à la combinaison du remplacement des fenêtres avec l'isolation de la toiture et des murs extérieurs selon les caractéristiques thermiques de 2014.

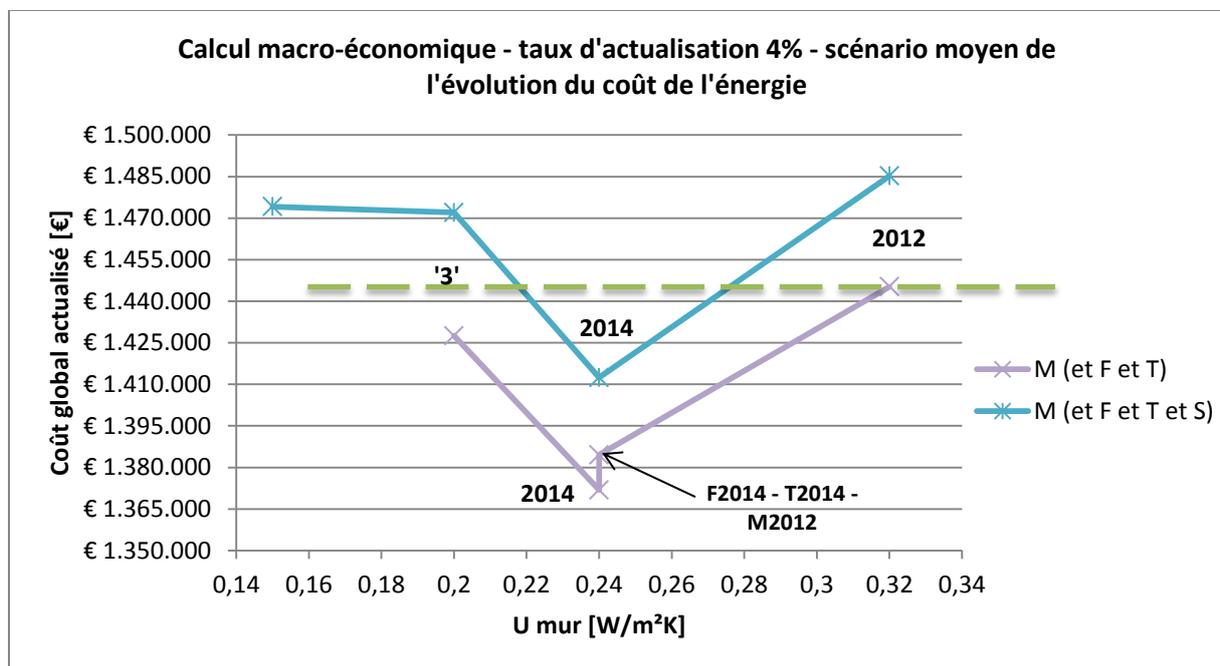
Le graphique ci-dessous reprend les mêmes groupes-mesures-variantes que le graphique précédent mais avec un scénario d'évolution du coût de l'énergie élevé. Le tracé des courbes diffèrent mais l'optimum reste identique : il s'agit de la combinaison du remplacement des fenêtres avec l'isolation de la toiture et des murs extérieurs selon les caractéristiques thermiques de 2014

L'isolation complète de l'école (type « passif ») tend vers le bas. Il reste toutefois un écart d'environ 2,5 % par rapport à l'optimum de la courbe bleue (isolation complète du bâtiment).

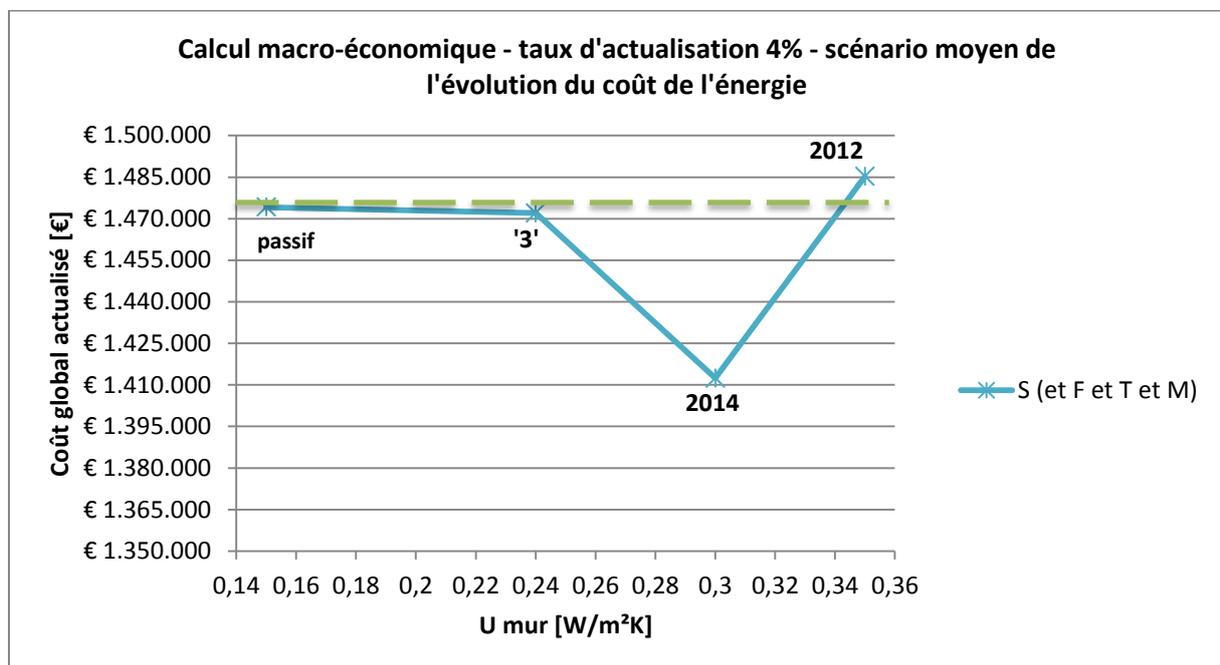


Graphique 23 : EE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie : U du toit en fonction du coût global actualisé (T|T et F|T et F et M|T et F et M et S)

Le Graphique 24 et le Graphique 25 présentent les résultats respectivement pour le U des murs et le U du sol.

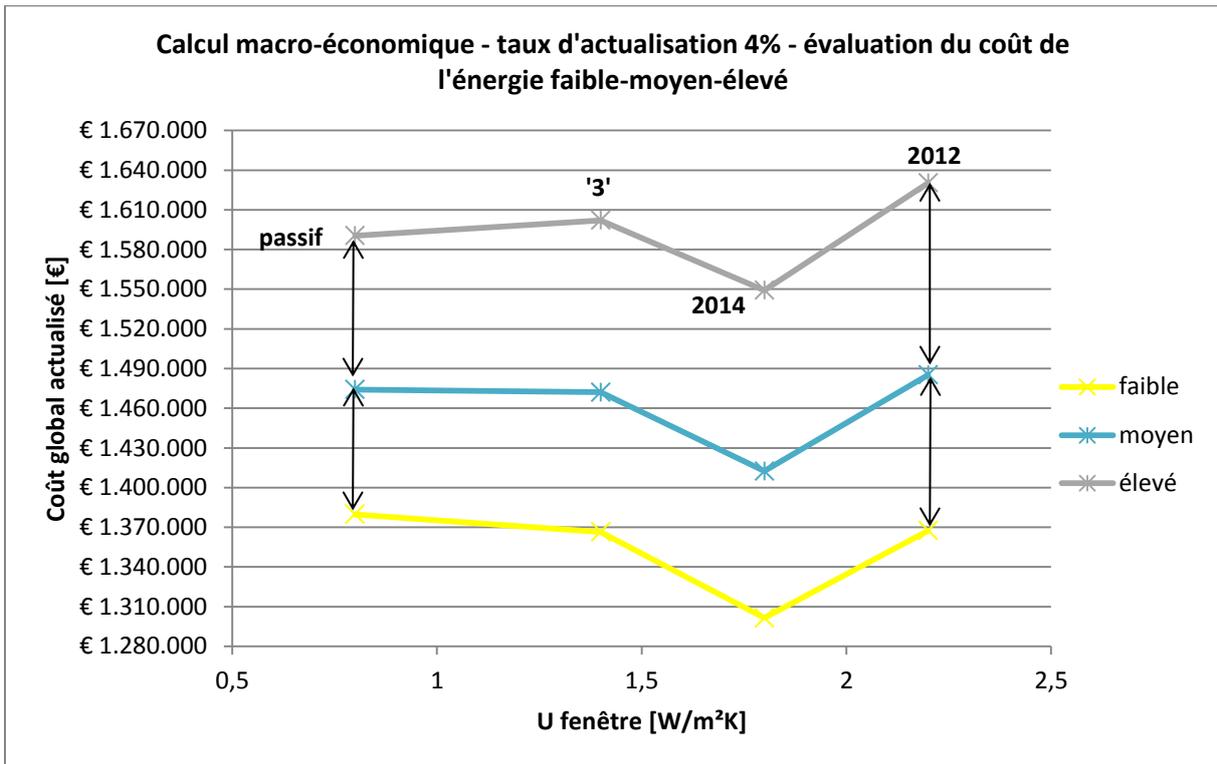


Graphique 24: EE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U du mur en fonction du coût global actualisé (M et F et T | M et F et T et S)



Graphique 25 : EE2 – calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U du sol en fonction du coût global actualisé (S et F et T et M)

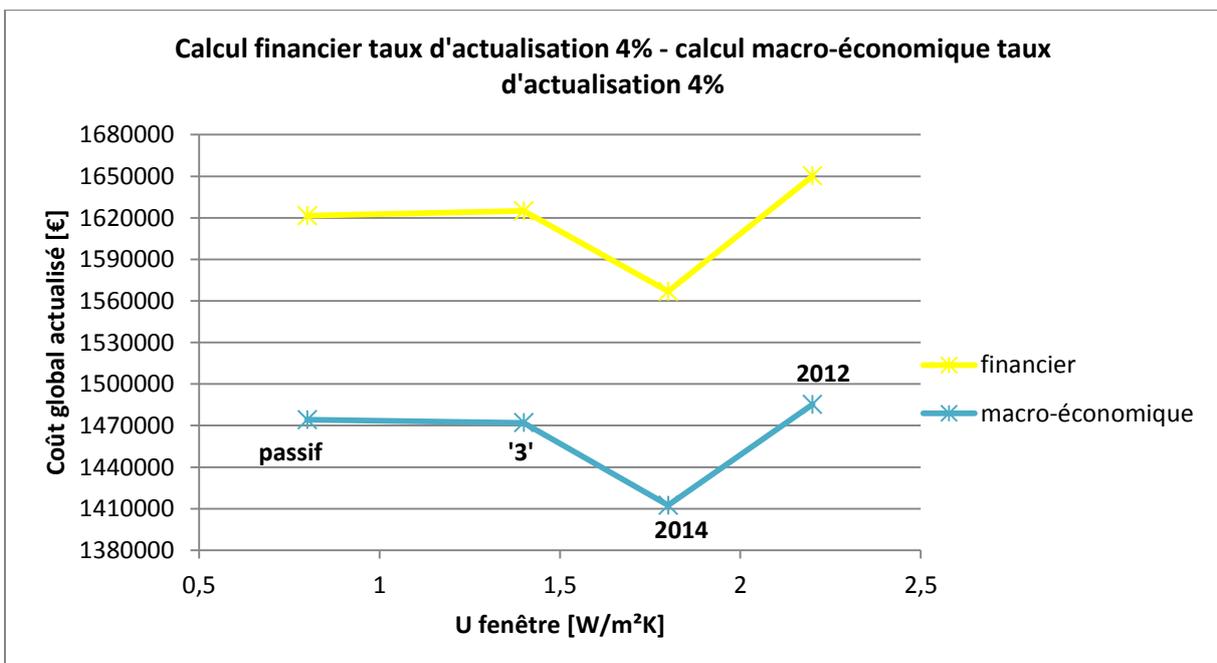
Le graphique ci-dessous illustre l'isolation complète du bâtiment avec des caractéristiques thermiques différentes selon un coût de l'énergie faible, moyen et élevé. Plus le coût de l'énergie est élevé, plus le coût global est élevé. Cette tendance diminue plus l'isolation de l'habitation est poussée.



Graphique 26 : EE2 - calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - évaluation du coût de l'énergie faible-moyen-élevé : U de la fenètre en fonction du coût global actualisé (F et T et M et S)

Le Graphique 27 compare le calcul financier avec le calcul macro-économique.

Pour l'ensemble des mesures-groupes-variantes, le coût global obtenu par le calcul financier est plus élevé que le coût global obtenu par le calcul macro-économique.



Graphique 27 : EE2 - comparaison calcul financier et calcul macro-économique – taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : U de la fenètre en fonction du coût global actualisé (F et T et M et S)

2. Résultats globaux pour les bâtiments destinés à l'enseignement existant

Les résultats pour tous les bâtiments de référence existants étudiés sont globalisés dans cette partie. Les résultats obtenus sont présentés suivants les hypothèses retenues, à savoir : calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4% et scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie. Les autres graphiques se trouvent en annexe.

Pour rappel, les bâtiments de référence destinés à l'enseignement existants sont les suivants : une petite école de campagne (EE1) et une grande école de type « athénée » (EE2). Ces deux typologies d'école sont choisies comme bâtiments de référence suite à notre étude préalable. Le tableau ci-dessous reprend le pourcentage de chacune de ces écoles construites en Région Wallonne. Il est réparti comme suit:

Type de bâtiments destinés à l'enseignement	Pourcentage
EE1	69 %
EE2	31 %

Tableau 1 : Pourcentage des typologies des bâtiments destinés à l'enseignement existants en Région Wallonne
[source : www.enseignement.be]

Ce pourcentage est défini en utilisant les « Annuaires d'établissements d'enseignement et de l'administration » de la Région Wallonne (<http://www.enseignement.be/>). Le nombre de petites écoles (de type primaire/maternel) s'élèvent à 1625 environ et 722 pour les grandes écoles (de type secondaire/supérieur).

Les résultats individuels, présentés précédemment, sont donc pondérés selon le pourcentage du tableau 1 pour obtenir les résultats globaux.

Pour chaque bâtiment une série de mesures/groupes/variantes a été étudiée, comme par exemple le remplacement des fenêtres seules ou l'isolation complète du bâtiment destiné à l'enseignement selon les caractéristiques thermiques de 2014,... De plus, les caractéristiques de chaque bâtiment ont été prises en compte ainsi que la faisabilité des différentes mises en œuvre d'isolation : par exemple, une isolation complète du bâtiment destiné à l'enseignement soit par l'extérieur, soit par l'intérieur.

Lorsque nous avons envisagé plusieurs mises en œuvre possibles, nous avons également pondéré chacune des méthodes par un pourcentage.

Type de bâtiments destinés à l'enseignement	Répartition selon méthode d'isolation
EE1	50% pour l'isolation des par l'EXT. 50% pour l'isolation des par l'INT.
EE2	100% par l'EXT

Tableau 5 : Pourcentage selon méthode d'isolation choisie

Décrit dans l'analyse individuelle, le bâtiment destiné à l'enseignement EE1 est constitué de bâtiments principaux et d'extensions. Etant donné que cette configuration n'est pas comparable à l'autre bâtiment d'enseignement, seuls les bâtiments principaux sont pris en compte dans les résultats globaux ci-dessous.

La méthode de calcul est la suivante :

- analyse des mesures-groupes-variantes de chaque bâtiment ;
- combinaison des mesures identiques: par exemple, V2012 seul ou F2012 seul ou F2014+T2014+M2014+S2014,... et ceci :
 - o selon le pourcentage des annuaires d'établissements d'enseignement ;
 - o selon pourcentage de la méthode d'isolation choisie.

Les résultats sont présentés sur des graphiques du coût global actualisé en fonction du U [W/m^2K] d'un élément de bâtiment. Sur chaque graphique, une droite verte pointillée situe le bâtiment **global** de « base » sur lequel aucune amélioration thermique n'est apportée.

Bâtiment destiné à l'enseignement « GLOBAL » existant

La figure 84 illustre le coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre. Pour chacune des courbes, on peut observer un optimum :

- Si seules les fenêtres sont remplacées, l'optimum est « fenêtres 2014 », pour un coût global actualisé de 924.278 € et un niveau K de 103.
- Si les fenêtres sont remplacées et le toit isolé, l'optimum correspond aux caractéristiques de 2014, pour un coût global actualisé de 881.269 € et un niveau K de 85.
- Si les fenêtres sont remplacées, le toit et les murs isolés, l'optimum se situe au niveau des caractéristiques de 2014, pour un coût global actualisé de 791.369 € et un niveau K de 50. Cet optimum correspond à l'optimum général du graphique.
- Si l'ensemble du bâtiment destiné à l'enseignement est isolé, l'optimum est une isolation de type 2014, pour un coût global actualisé de 795.023 € et un niveau K de 44. Il est proche de l'optimum général ; cette observation est due à la grande école qui possède un plancher sur sol.

L'isolation complète du bâtiment selon les caractéristiques thermiques de type « passif » présente un coût global plus élevé de 25.274 € par rapport à l'optimum observé pour une isolation complète.

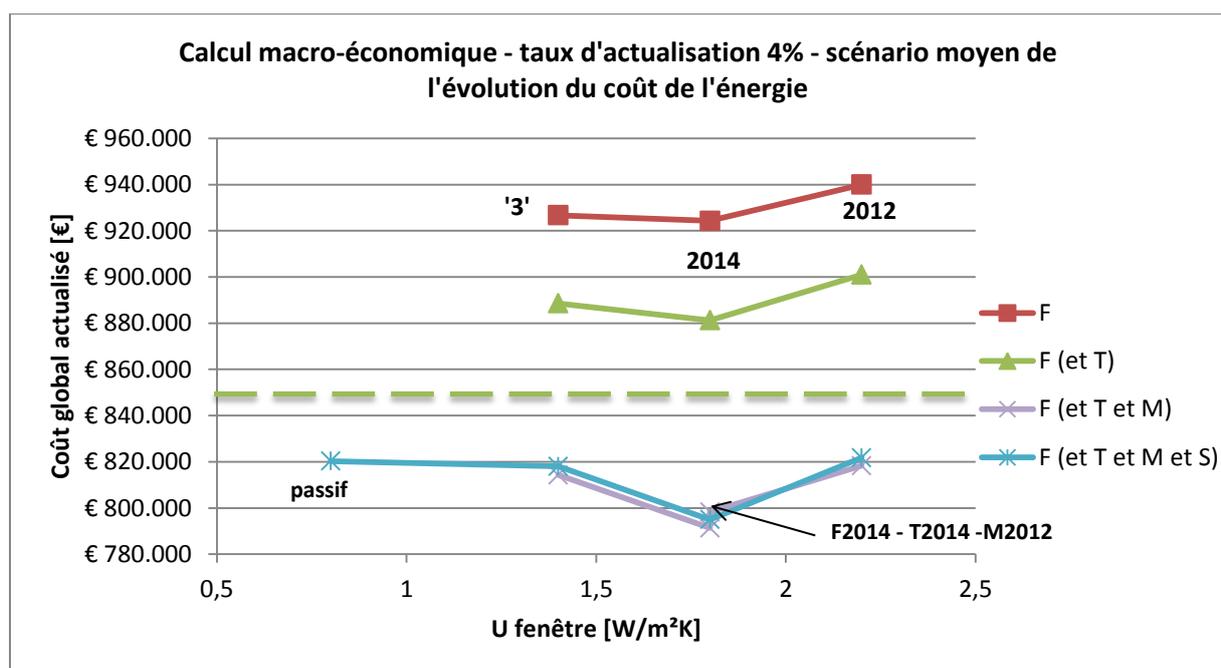


Figure 84 : coût global actualisé en fonction du U fenètre – bâtiment destiné à l'enseignement existant GLOBAL

L'optimum général est obtenu avec un remplacement des fenêtres combiné avec une isolation du toit et des murs selon les performances thermiques de 2014 (pour un coût global actualisé de 791.369 € et un niveau K de 50). Un second optimum, proche du premier, correspond à l'isolation complète du bâtiment selon les mêmes caractéristiques 2014. Une différence de 3.654 € sur 30 ans est observée entre ces deux optimum, c'est-à-dire une différence de 10 €/mois.

La figure 85 illustre le coût global actualisé en fonction du U du toit. Pour chacune des courbes, on peut observer un optimum :

- Si seul le toit est isolé, il n'y a pas d'optimum. Le coût global actualisé reste quasiment constant.
- Si les fenêtres sont remplacées et le toit isolé, l'optimum se situe au niveau des caractéristiques de 2014.
- Si les fenêtres sont remplacées, le toit et les murs isolés, l'optimum correspond aux caractéristiques de 2014.
- Si tout le bâtiment destiné à l'enseignement est isolé, l'optimum est une isolation de type 2014.

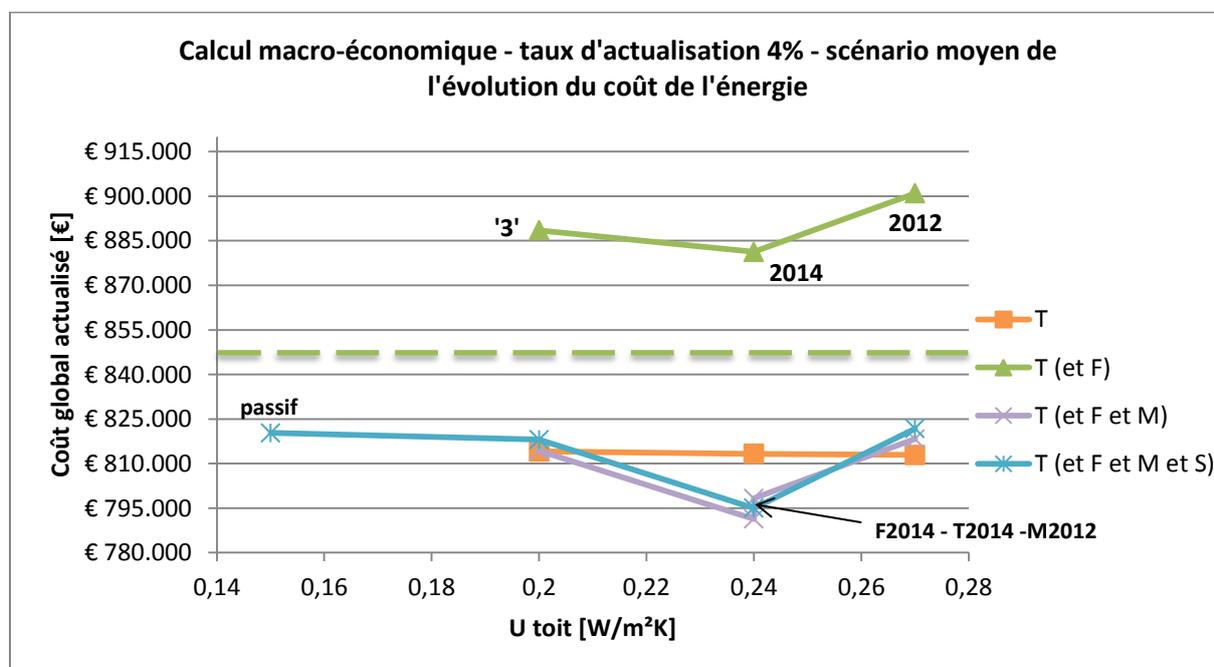


Figure 85 : coût global actualisé en fonction du U toit – bâtiment destiné à l'enseignement existant GLOBAL

La figure 86 illustre le coût global actualisé en fonction du U du mur. Pour chacune des courbes, on peut observer un optimum :

- Si les fenêtres sont remplacées, le toit et les murs isolés, l'optimum correspond aux caractéristiques de 2014.
- Si tout le bâtiment destiné à l'enseignement est isolé, l'optimum est une isolation de type 2014.

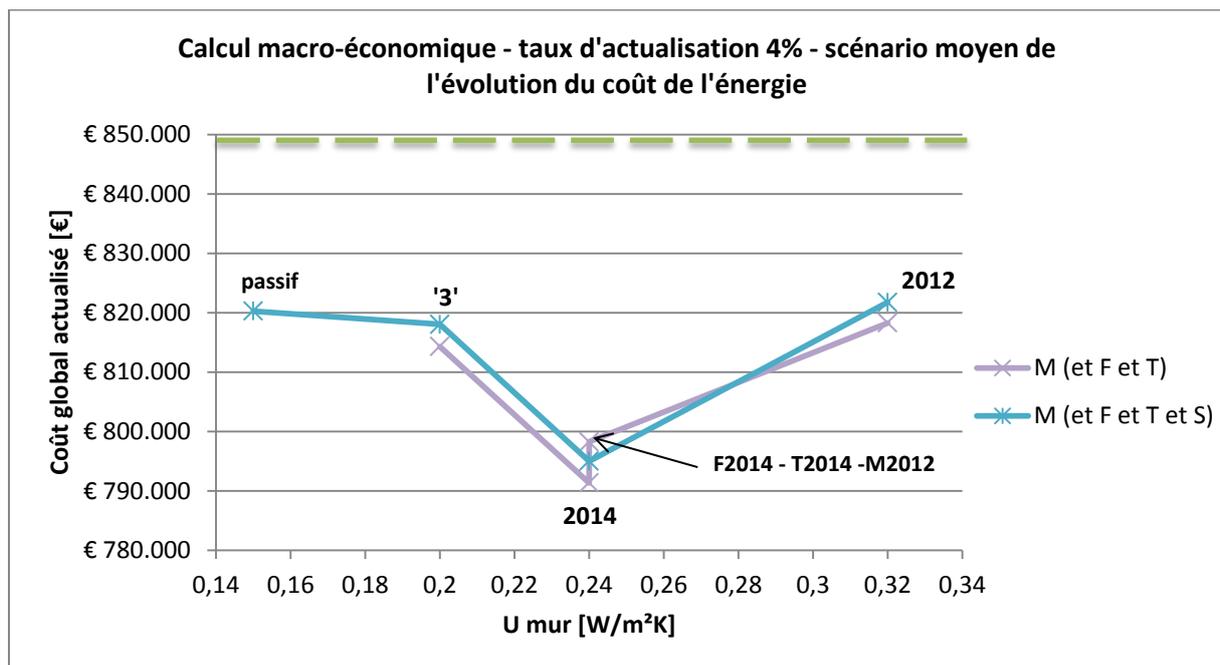


Figure 86: coût global actualisé en fonction du U mur – bâtiment destiné à l'enseignement existant GLOBAL

La figure 87 illustre le coût global actualisé en fonction du U du sol. On peut observer un optimum :

- Si tout le bâtiment destiné à l'enseignement est isolé, l'optimum est une isolation de type 2014.

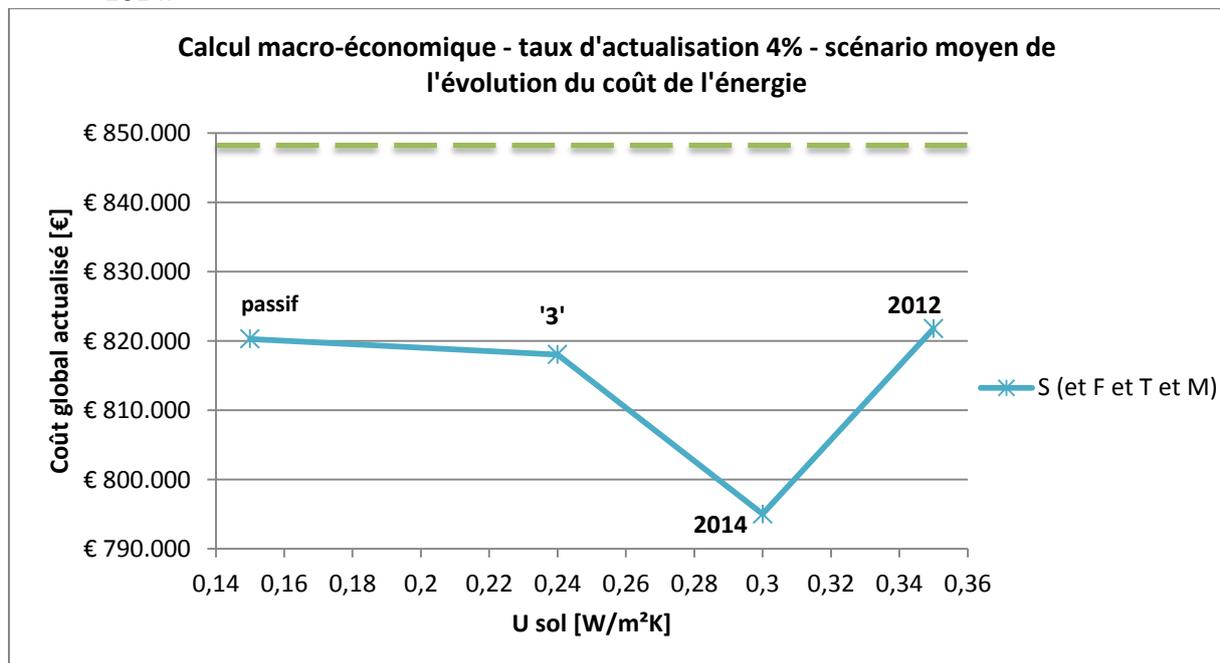


Figure 87 : coût global actualisé en fonction du U sol – bâtiment destiné à l'enseignement existant GLOBAL

3. Bâtiment destiné à l'enseignement neuf

EN – Ecole neuve

Les graphiques relatifs à l'école neuve sont représentés sous la même forme de nuage de points qui correspondent aux mesures-groupes-variantes simulées. Elles portent sur les performances thermiques de l'enveloppe (2012, 2014, '3' et passif) et sur les systèmes.

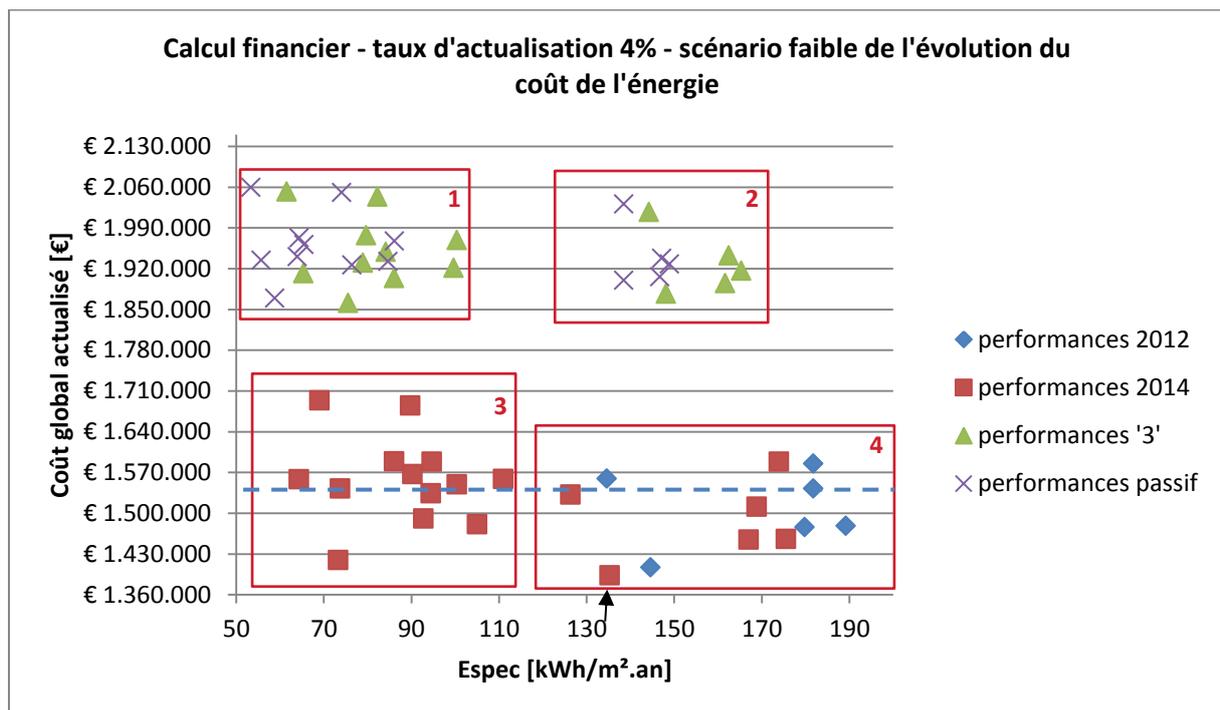
Pour le calcul financier, pour une même caractéristique thermique, les coûts varient fortement ainsi que le Espec. Il est possible de distinguer quatre zones :

1. une zone regroupant les caractéristiques thermiques '3' et passif combiné à un système photovoltaïque ;
2. une zone regroupant les caractéristiques thermiques '3' et passif (sans ER) ;
3. une zone regroupant les caractéristiques thermiques 2012 et 2014 combiné à un système photovoltaïque ;
4. une zone regroupant les caractéristiques thermiques 2012 et 2014 (sans ER) ;

D'une manière générale, pour information, les zones 2 et 4 (sans ER) ont une valeur Espec supérieure à 130 kWh/m².an à l'exception du cas dont le système de chauffage est une PAC sol-eau. Les zones 1 et 3 varient dans une gamme similaire de Espec mais le coût global de la zone 1 est environ 26 % plus élevé.

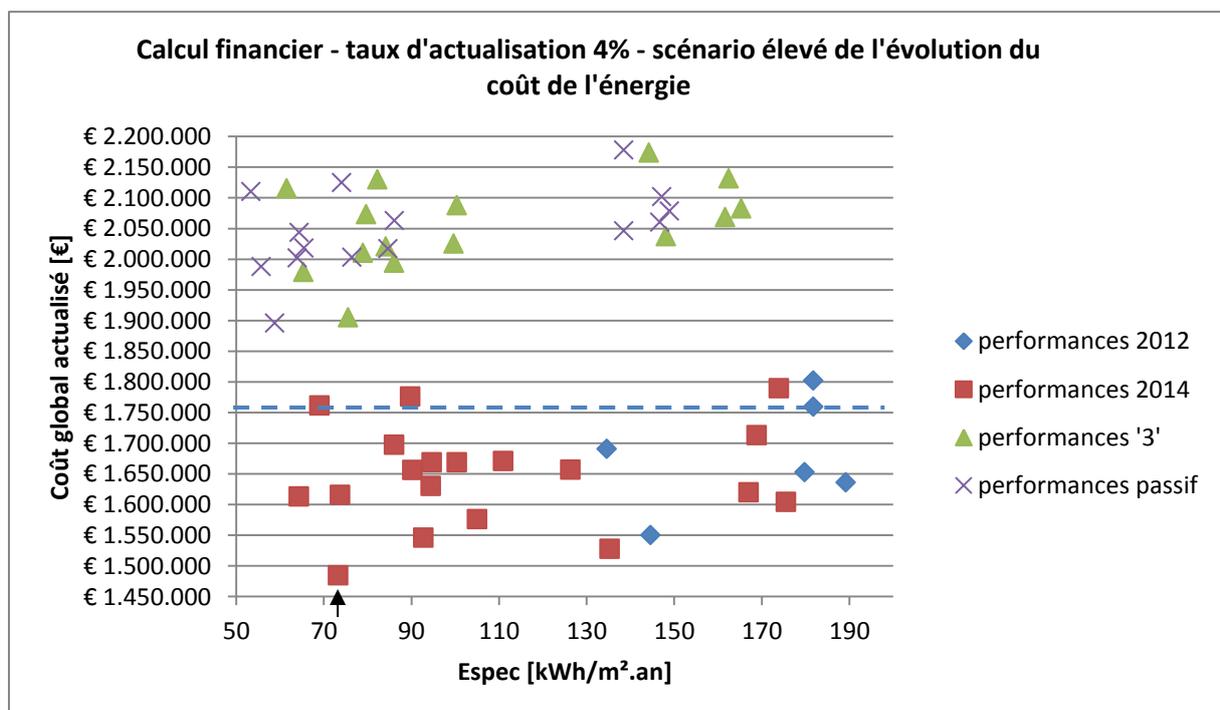
L'optimum général du graphique est une école neuve dont les mesures sont les suivantes : une enveloppe respectant les caractéristiques thermiques de 2014, une étanchéité à l'air de 4m³/h.m², un système de ventilation de type C, d'une PAC air/eau, d'un éclairage performant (détecteurs de présence et diming en fonction de la disponibilité de l'éclairage naturel), de protections solaires mobiles intérieures. Le Espec est de 135,3 kWh/m².an, le Ew= 58 et le niveau K est de 36 pour un coût global de 1.393.428 €. Le point bleu à côté de cet optimum correspond à un bâtiment dont les systèmes sont identiques mais les performances de l'enveloppe sont de 2012.

L'optimum de la zone 3 correspond à un bâtiment d'enseignement pourvu d'une enveloppe respectant les caractéristiques thermiques de 2014, d'une étanchéité à l'air de 4m³/h.m², un système de ventilation de type C, d'une PAC air/eau, d'un éclairage performant (détecteurs de présence et diming en fonction de la disponibilité de l'éclairage naturel), de protections solaires mobiles intérieures et de panneaux photovoltaïques (PV1). Le Espec est de 73,2 kWh/m².an, le Ew= 32 et le niveau K est de 36 pour un coût global de 1.419.832,76 €.



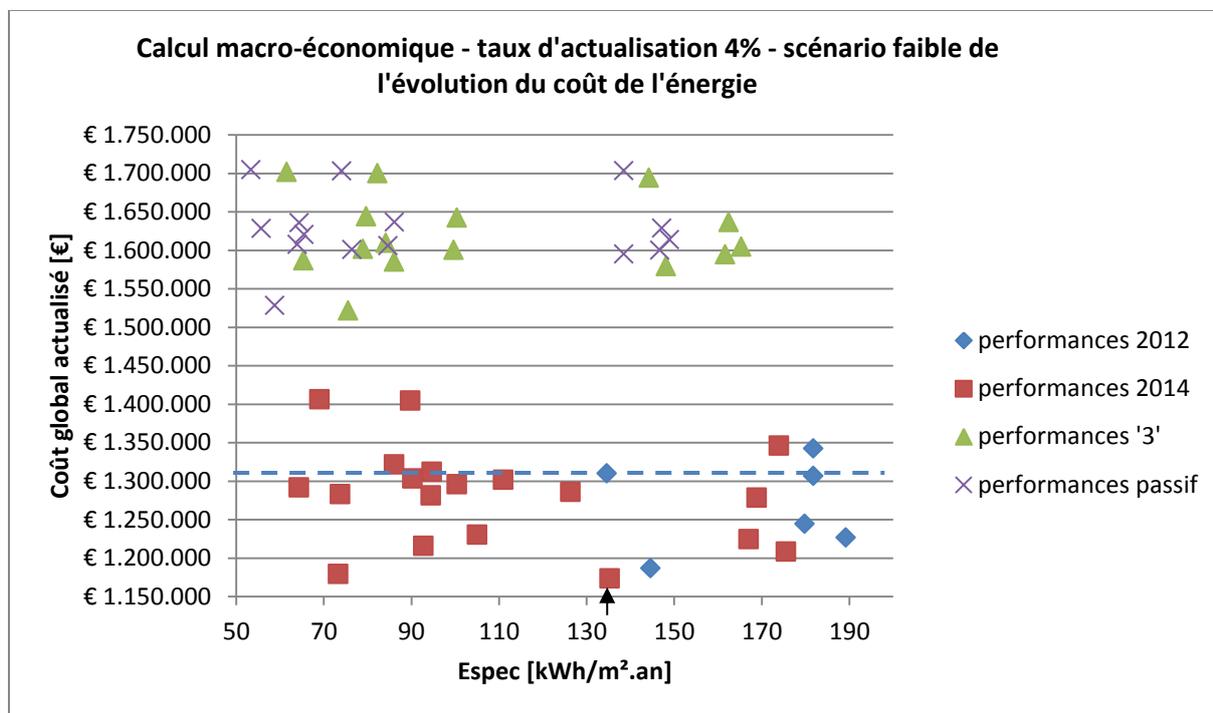
Graphique 28 : EN - calcul financier - taux d'actualisation 4% - scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie : Espec de mesures pourvues de quatre caractéristiques thermiques différentes en fonction du coût global actualisé

Le graphique ci-dessous illustre les résultats du calcul financier pour un taux d'actualisation à 4% et un scénario **élevé** de l'évolution du coût de l'énergie. L'optimum est le même que celui du graphique précédent (PAC air/eau, calcul financier pour un taux d'actualisation à 4% et un scénario **faible** de l'évolution du coût de l'énergie) sauf que le bâtiment est pourvu de panneaux photovoltaïques. Il correspond à l'optimum de la zone 3 du graphique précédent.



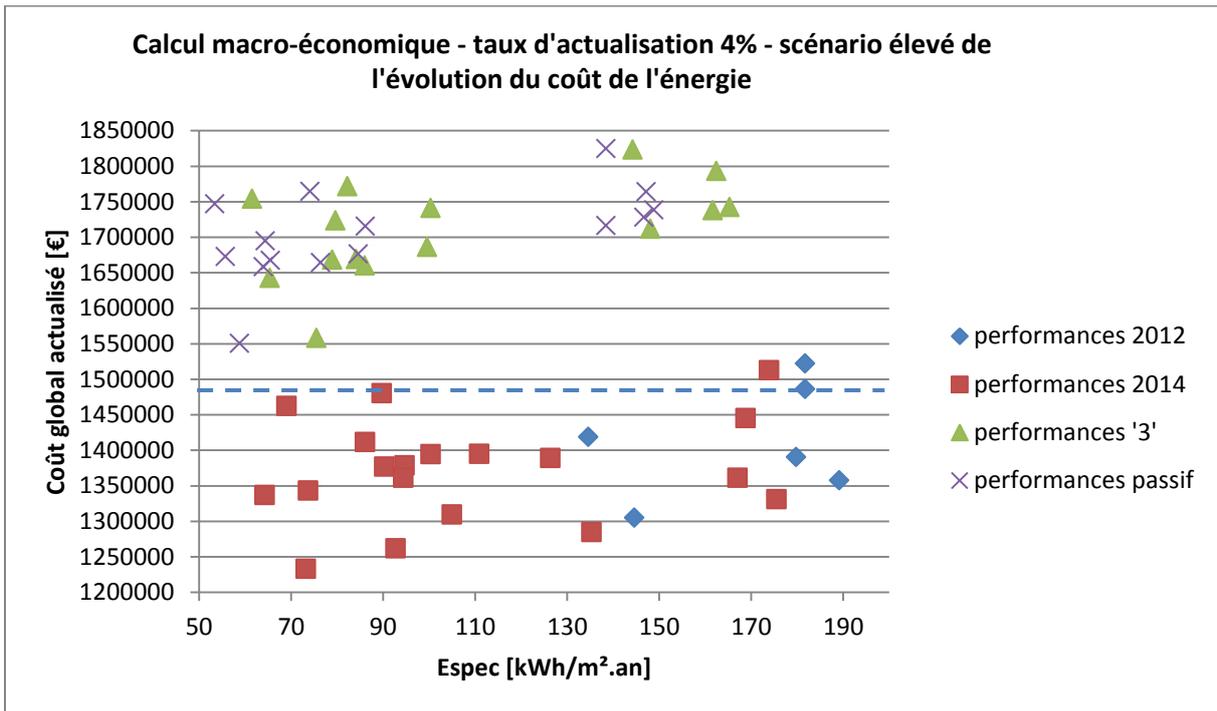
Graphique 29 : EN - calcul financier - taux d'actualisation 4% - scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie : Espec de mesures pourvues de quatre caractéristiques thermiques différentes en fonction du coût global actualisé

Pour le calcul macro-économique, les tendances sont similaires que pour le calcul financier. Le coût global est inférieur pour le calcul macro-économique d'environ 18% d'une manière générale.

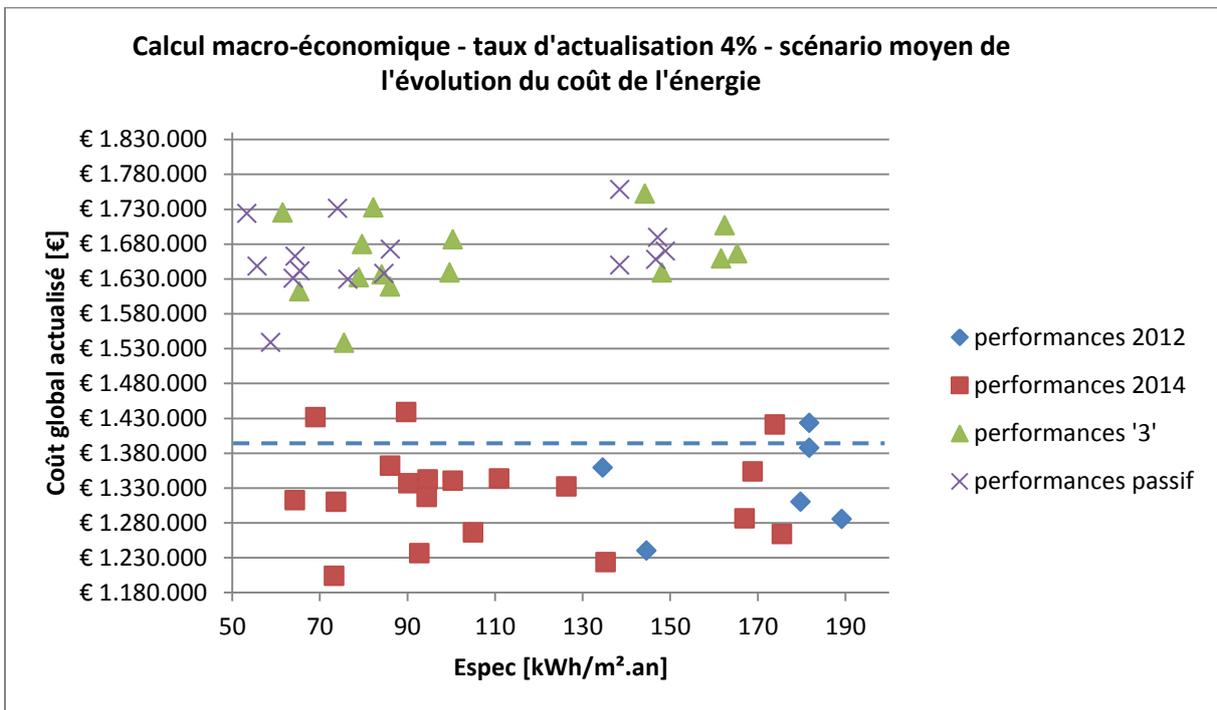


Graphique 30 : EN – calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie : Espec de mesures pourvues de quatre caractéristiques thermiques différentes en fonction du coût global actualisé

L'optimum pour le calcul macro-économique correspond au même type de bâtiment destiné à l'enseignement que celui observé pour le calcul financier. Pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation à 4% et un scénario **élevé** de l'évolution du coût de l'énergie, les conclusions sont identiques que celles pour le calcul financier avec un scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie.



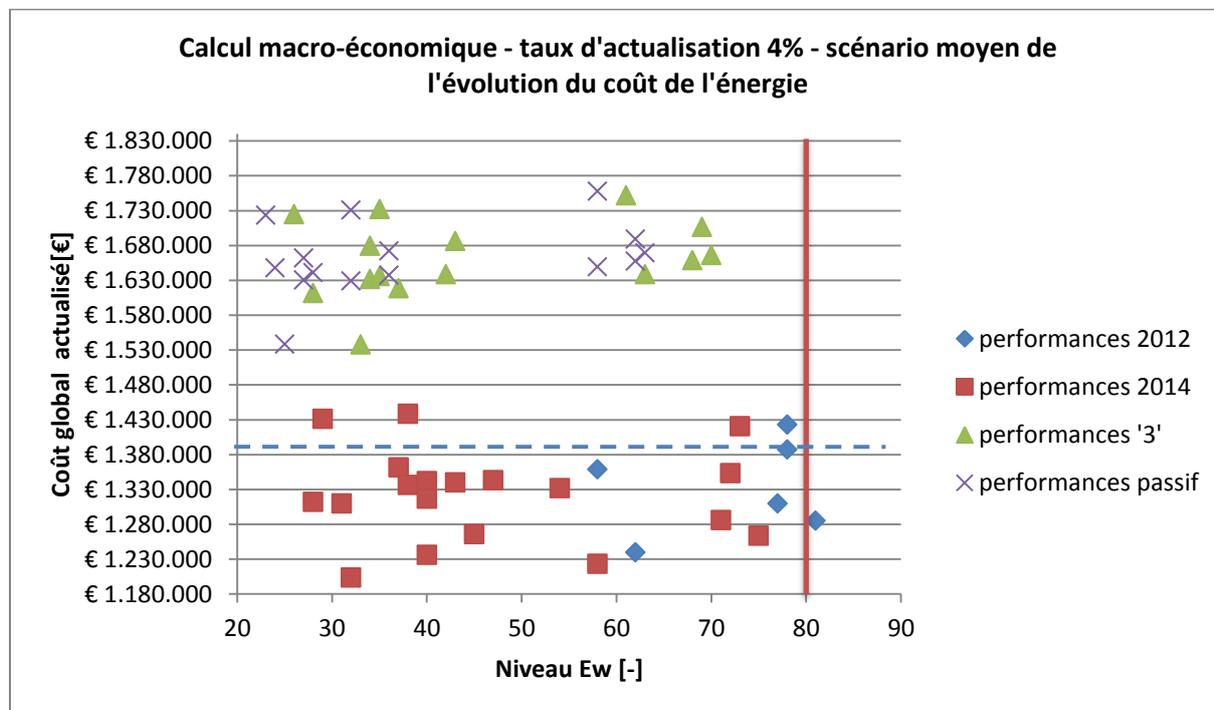
Graphique 31 : EN – calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie : Espec de mesures pourvues de quatre caractéristiques thermiques différentes en fonction du coût global actualisé



Graphique 32 : EN – calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : Espec de mesures pourvues de quatre caractéristiques thermiques différentes en fonction du coût global actualisé

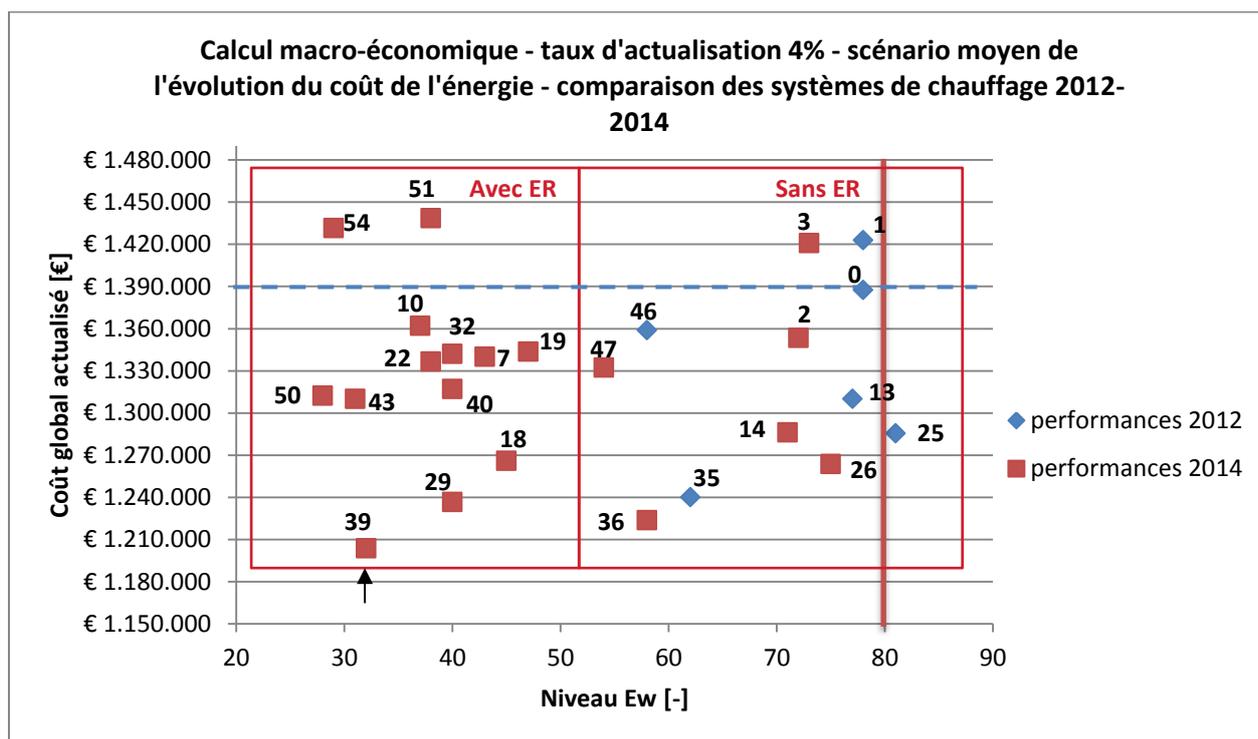
L'optimum général du graphique ci-dessus est identique au graphique précédent ; il s'agit d'une école neuve dont les mesures sont les suivantes : une enveloppe respectant les caractéristiques thermiques de 2014, une étanchéité à l'air de 4m³/h.m², un système de ventilation de type C, d'une PAC air/eau, d'un éclairage performant (détecteurs de présence et diming en fonction de la

disponibilité de l'éclairage naturel), de protections solaires mobiles intérieures et de panneaux photovoltaïques. Le Espec est de 73,2 kWh/m².an, le Ew= 32 et le niveau K est de 36 pour un coût global de 1.419.832,76 €. Cet optimum est celui observé sur le Graphique 33 où l'axe des abscisses est donné par la valeur du niveau Ew en fonction du coût global pour un calcul macro-économique, taux d'actualisation 4% et scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie.



Graphique 33 : EN – calcul macro-économique - taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : Ew de mesures pourvues de quatre caractéristiques thermiques différentes en fonction du coût global actualisé

Le graphique suivant compare des bâtiments destinés à l'enseignement présentant des performances en terme d'isolation, des étanchéités à l'air différentes (4m³/h.m² et 2m³/h.m²) et des systèmes de ventilation différents (type C et D avec récupérateur de chaleur). Les systèmes de chauffage diffèrent également : il s'agit soit d'une chaudière à condensation au mazout, soit d'une chaudière à condensation au gaz, soit d'une pompe à chaleur sol-eau, soit une chaudière biomasse non à condensation.

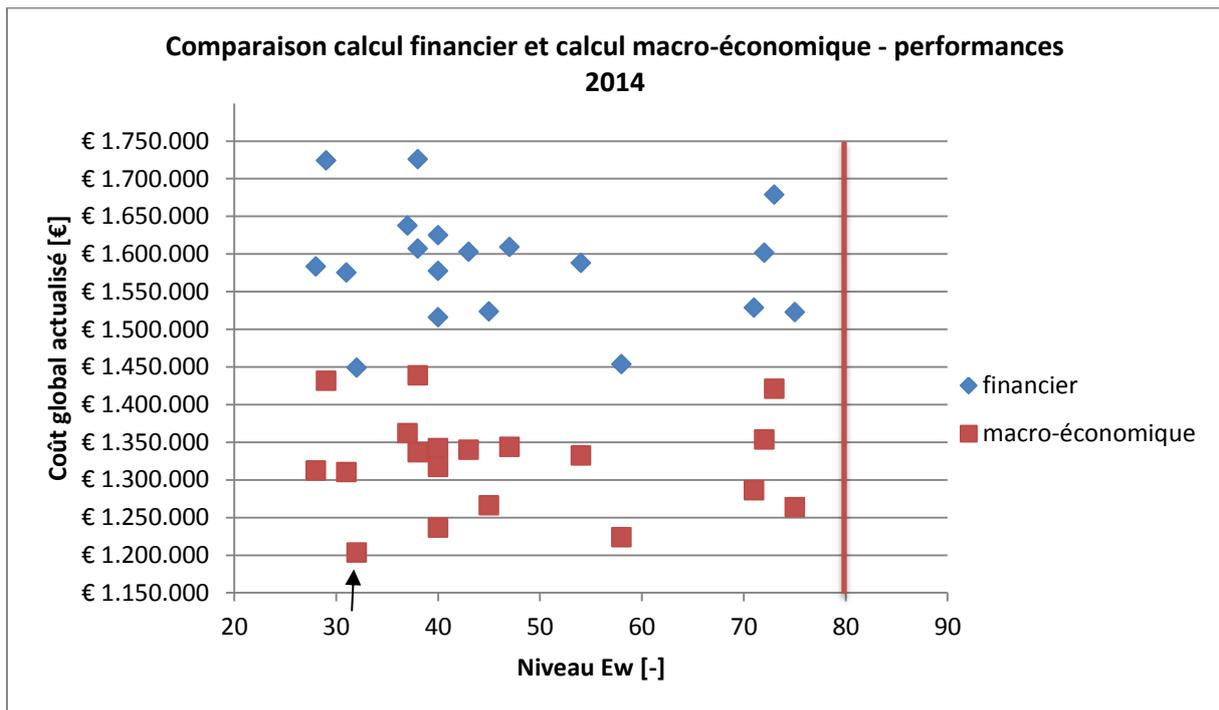


Graphique 34 : EN - calcul macro-économique - coût énergie moyen - taux d'actualisation 4% - comparaison des systèmes pour les niveaux d'isolation 2012 et 2014

0	E4 + vent. C + CC mazout + Ec1 + PS1	22	E2 + vent. DR + CC gaz + Ec2 + PS1 + PV2
1	E4 + vent. C + CC mazout + Ec2 + PS1	26	E4 + vent. C + CNC biomasse + Ec2 + PS1
13	E4 + vent. C + CC gaz + Ec2 + PS1	29	E4 + vent. DR + CNC biomasse + Ec2 + PS1 + PV2
25	E4 + vent. C + CNC biomasse + Ec2 + PS1	32	E2 + vent. DR + CNC biomasse + Ec2 + PS1 + PV2
35	E4 + vent. C + PAC A/E + Ec2 + PS1	36	E4 + vent. C + PAC A/E+ Ec2 + PS1
46	E4 + vent. C + PAC S/E + Ec2 + PS1	39	E4 + vent. C + PAC A/E+ Ec2 + PS1 + PV1
2	E4 + vent. C + CC mazout + Ec2 + PS1	40	E2 + vent. DR + PAC A/E+ Ec2 + PS1 + PV1
3	E2 + vent. D _R + CC mazout + Ec2 + PS1	43	E2 + vent. DR + PAC A/E+ Ec2 + PS1 + PV2
7	E4 + vent. C + CC mazout + Ec2 + PS1 + PV1	47	E4 + vent. C + PAC S/E+ Ec2 + PS1
10	E4 + vent. C + CC mazout + Ec2 + PS1 + PV2	50	E4 + vent. C + PAC S/E+ Ec2 + PS1 + PV1
14	E4 + vent. C + CC gaz + Ec2 + PS1	51	E2 + vent. DR + PAC S/E+ Ec2 + PS1 + PV1
18	E4 + vent. C + CC gaz + Ec2 + PS1 + PV1	54	E2 + vent. DR + PAC S/E+ Ec2 + PS1 + PV2
19	E4 + vent. DR + CC gaz + Ec2 + PS1 + PV1		

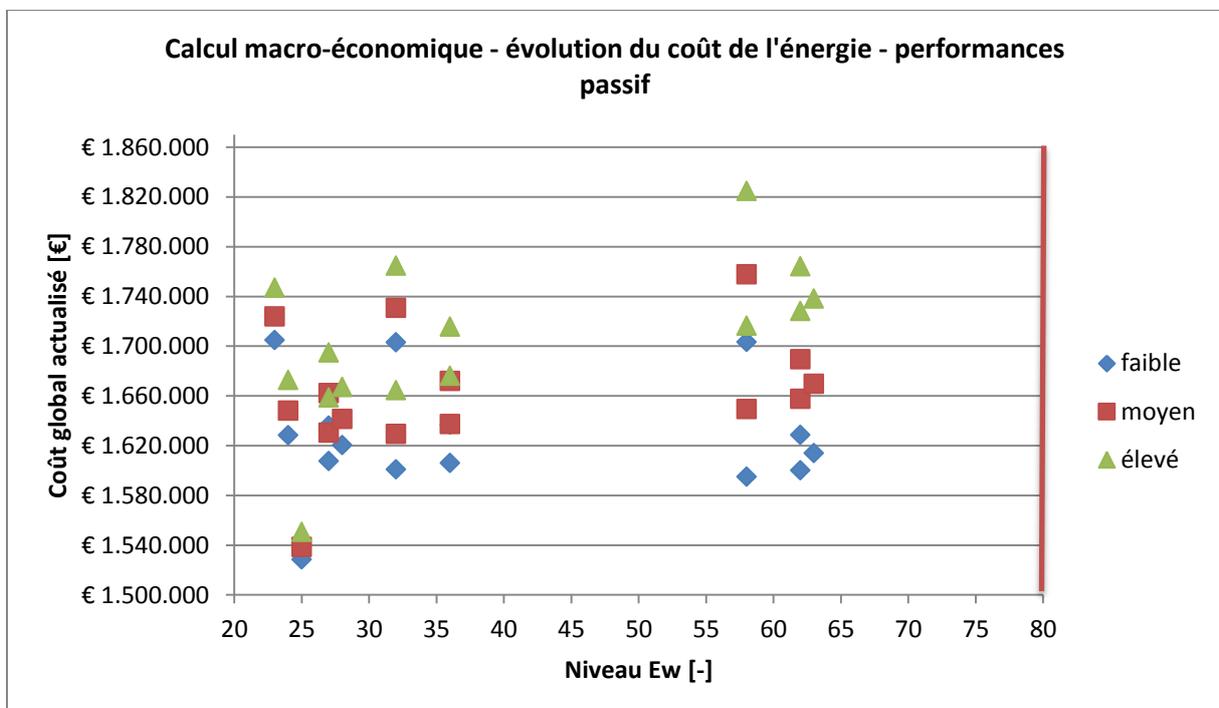
L'optimum correspond au cas 39, à savoir : E4 + vent. C + PAC A/E + Ec2 + PS1 + PV1.

Le graphique suivant indique que pour des mesures/groupes/variantes identiques, le coût global obtenu par le calcul macro-économique est toujours inférieur au coût du calcul financier.



Graphique 35 : EN - comparaison calcul financier et calcul macro-économique - coût énergie moyen - taux d'actualisation 4% : Ew des mesures de performances de 2014 en fonction du coût global actualisé

Le Graphique 36 montre que plus la consommation d'énergie est faible, plus l'impact de l'augmentation du coût de l'énergie sur le coût global est faible. Il est donc préférable de mettre en place une isolation de l'enveloppe performante dans le cas où le prix de l'énergie augmenterait fortement (investissement de base compensé par l'économie d'énergie réalisée sur 30 ans).



Graphique 36 : EN - calcul macro-économique - évolution du coût de l'énergie - taux d'actualisation 4% : Ew des mesures de performances « passif » en fonction du coût global actualisé

4. Conclusions

Le coût optimum pour un scénario faible ou pour un scénario moyen correspond à un bâtiment dont les caractéristiques thermiques de l'enveloppe sont celles prévues pour « 2014 ». Par contre, dans le cas d'un scénario élevé (3,5 %) ET d'un bâtiment de petite taille, il est plus intéressant de l'isoler de manière passive. Le coût optimum n'est donc pas toujours facilement observable et varie selon l'évolution du coût de l'énergie (faible 0%, moyen 1,75% ou élevé 3,5%).

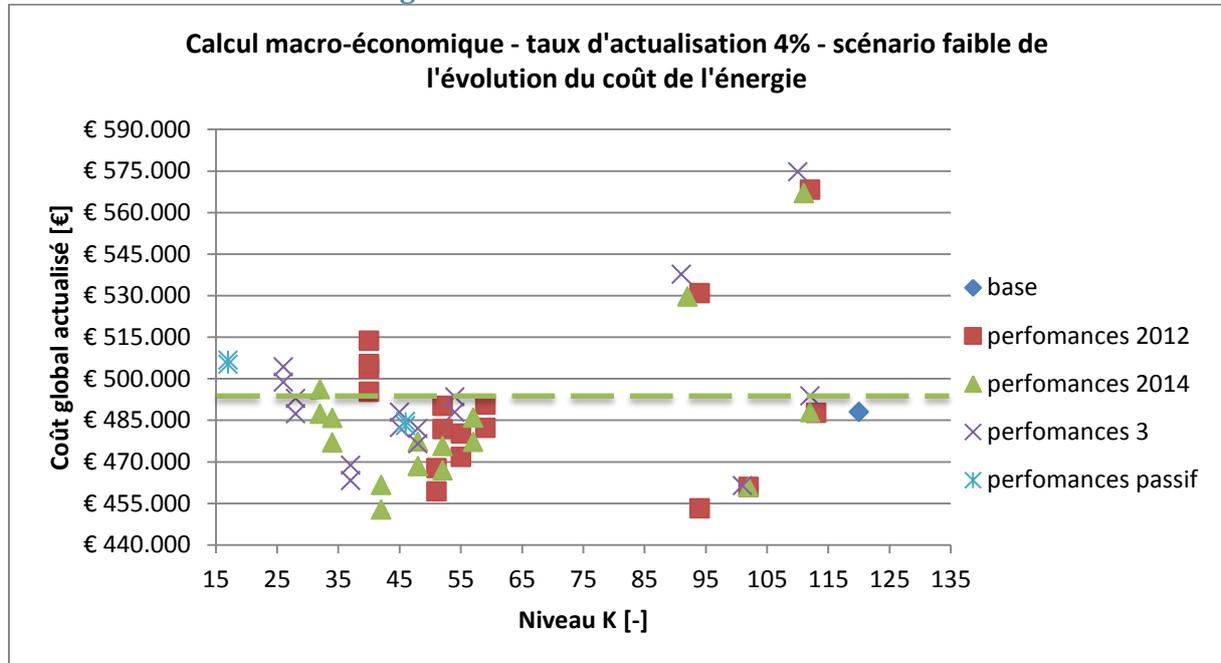
Les exigences qui seront imposées au 1^{er} janvier 2014 permettent d'obtenir un coût global actualisé optimum. Les exigences actuelles « 2012 » présentent généralement le coût global le plus élevé ; elles ne sont pas assez performantes et moins rapidement rentabilisés sur 30 ans malgré un coût à l'investissement moindre. Par ailleurs, les exigences intermédiaires aux cas « 2014 » et « passif » sont plus intéressantes que les exigences actuelles.

Pour les systèmes placés dans les bâtiments destinés à l'enseignement, il est préférable de mettre en œuvre une pompe à chaleur air/eau et un système C pour la ventilation. L'étude du calcul macro-économique montre qu'il est intéressant d'utiliser des chaudières « biomasse » étant donné qu'elles rejettent peu de CO₂. Le coût global actualisé diminue davantage quand des énergies renouvelables entrent en jeu et ce, quelle que soit l'évolution de l'énergie (faible, moyen, élevé).

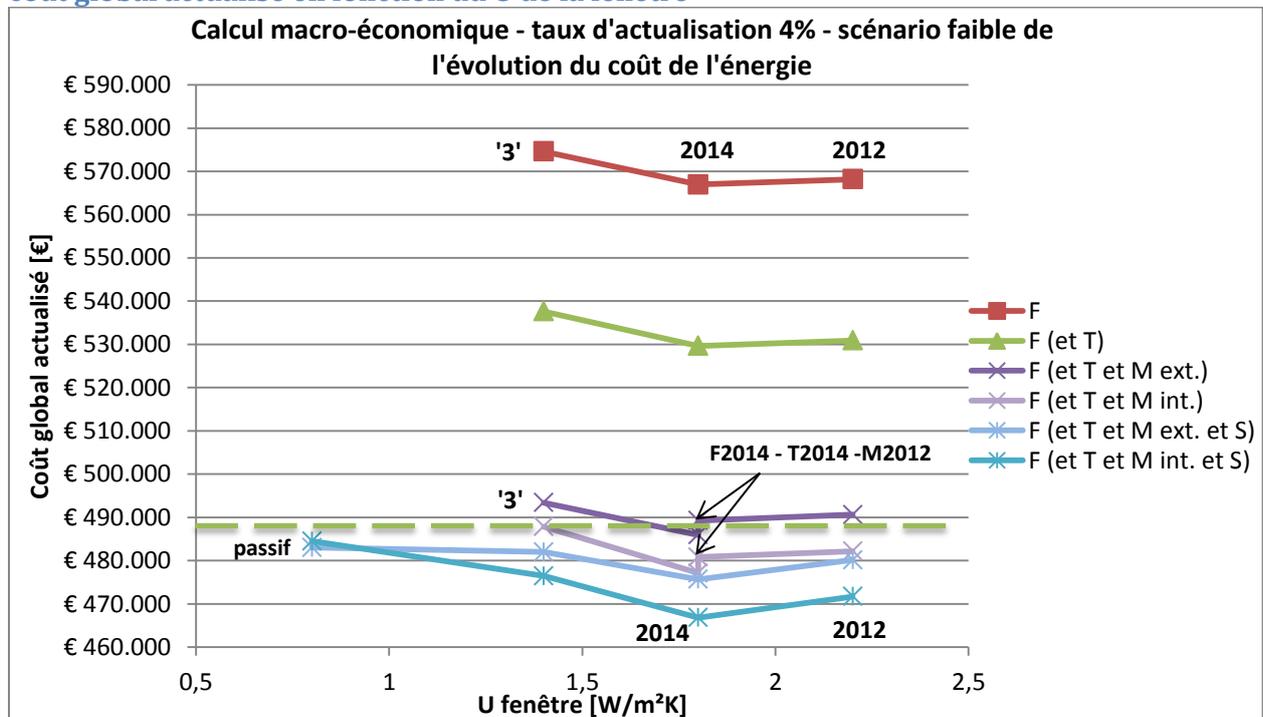
5. ANNEXES

Graphiques supplémentaires EE1

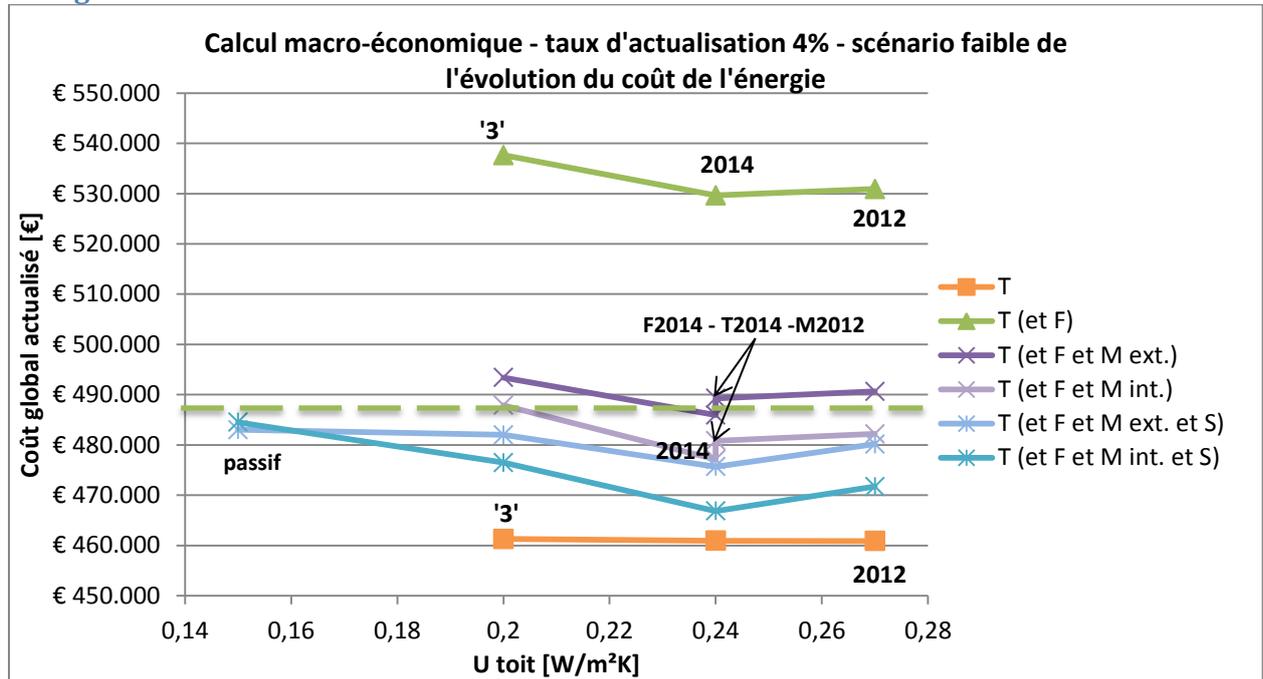
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé



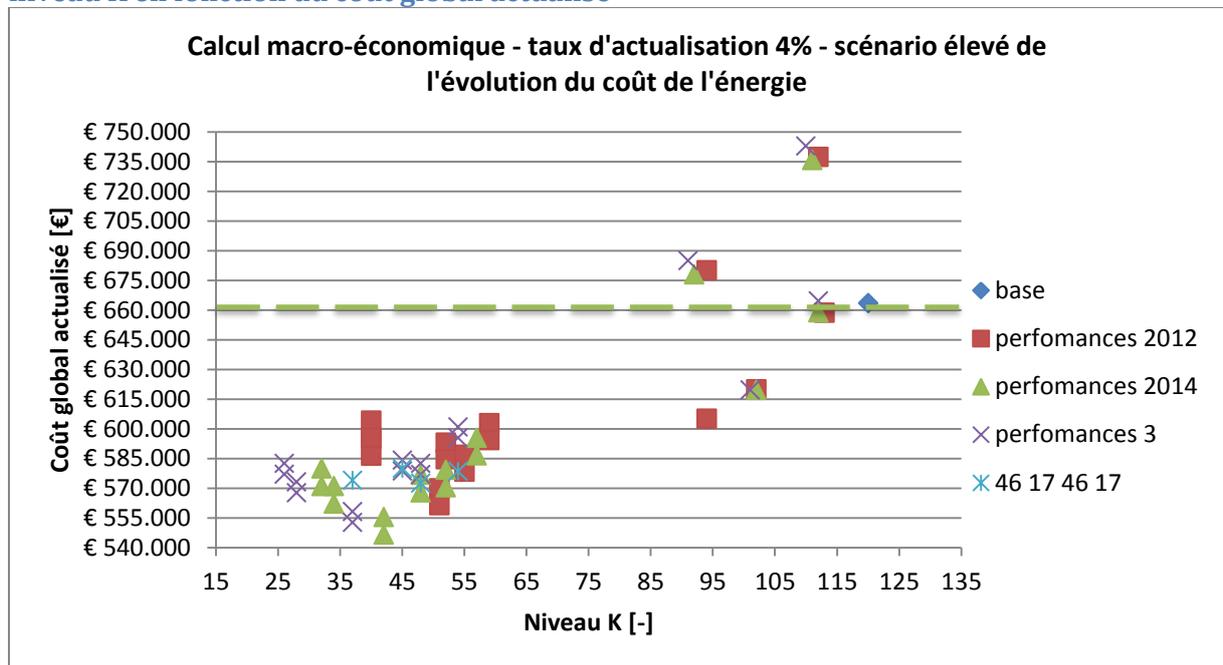
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



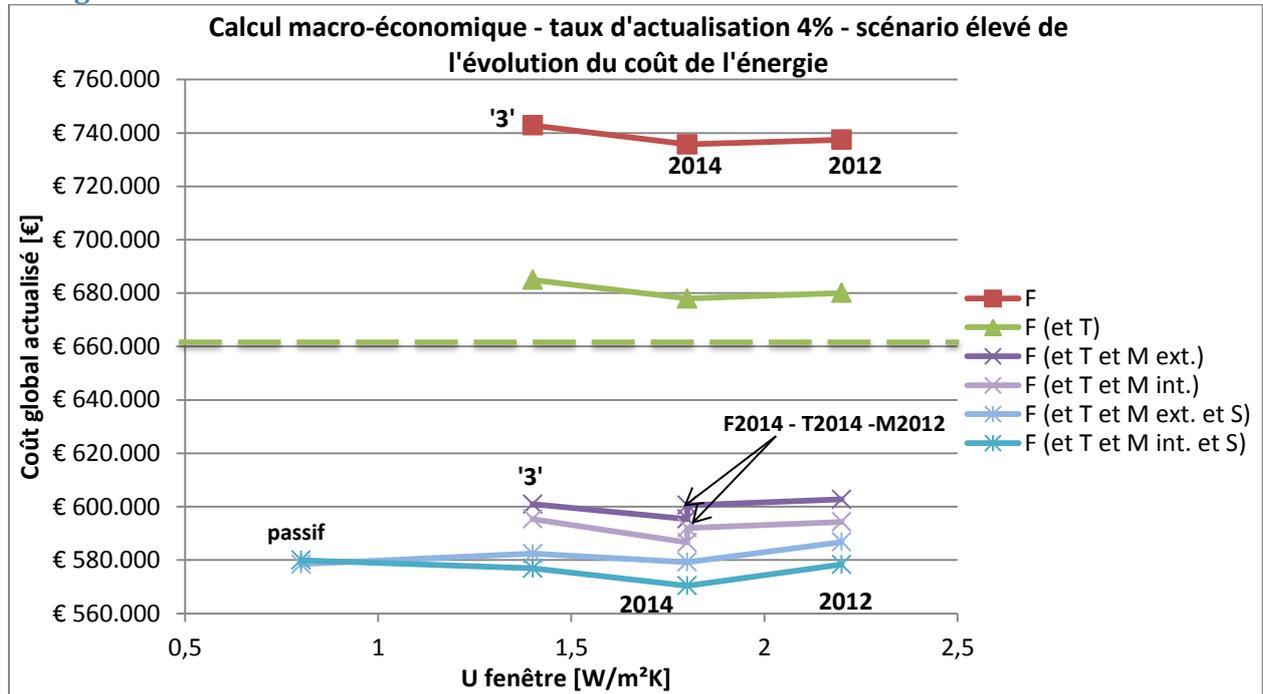
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



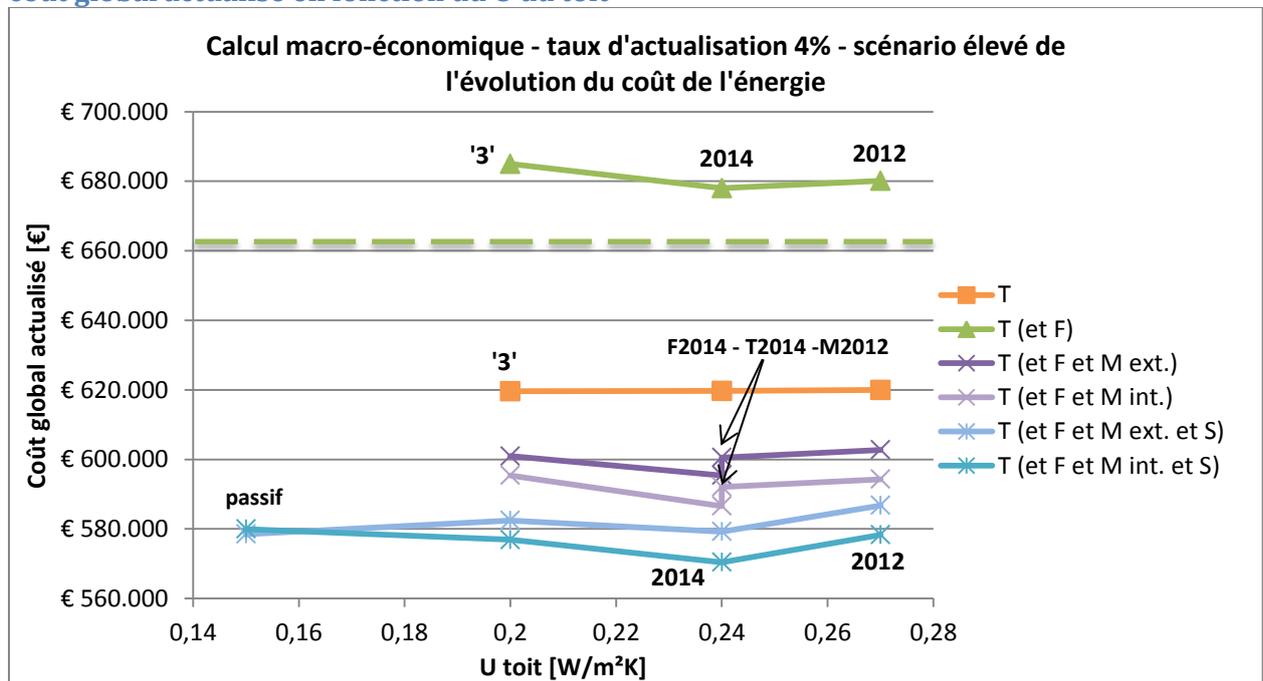
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé



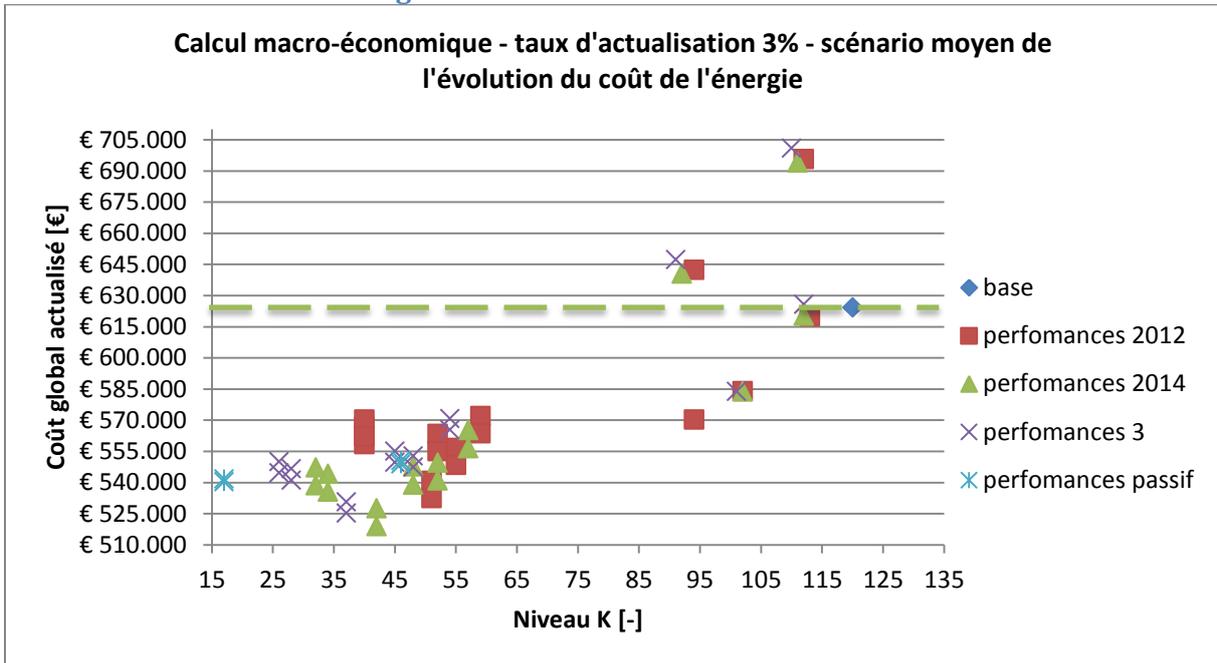
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



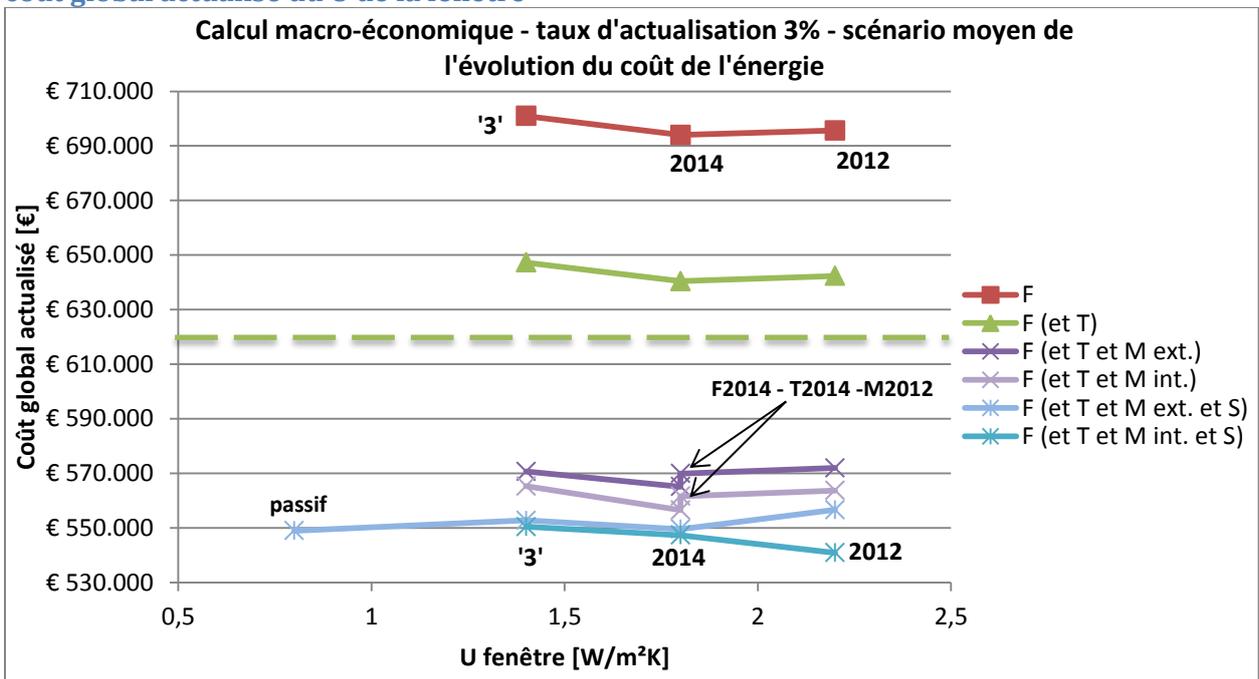
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



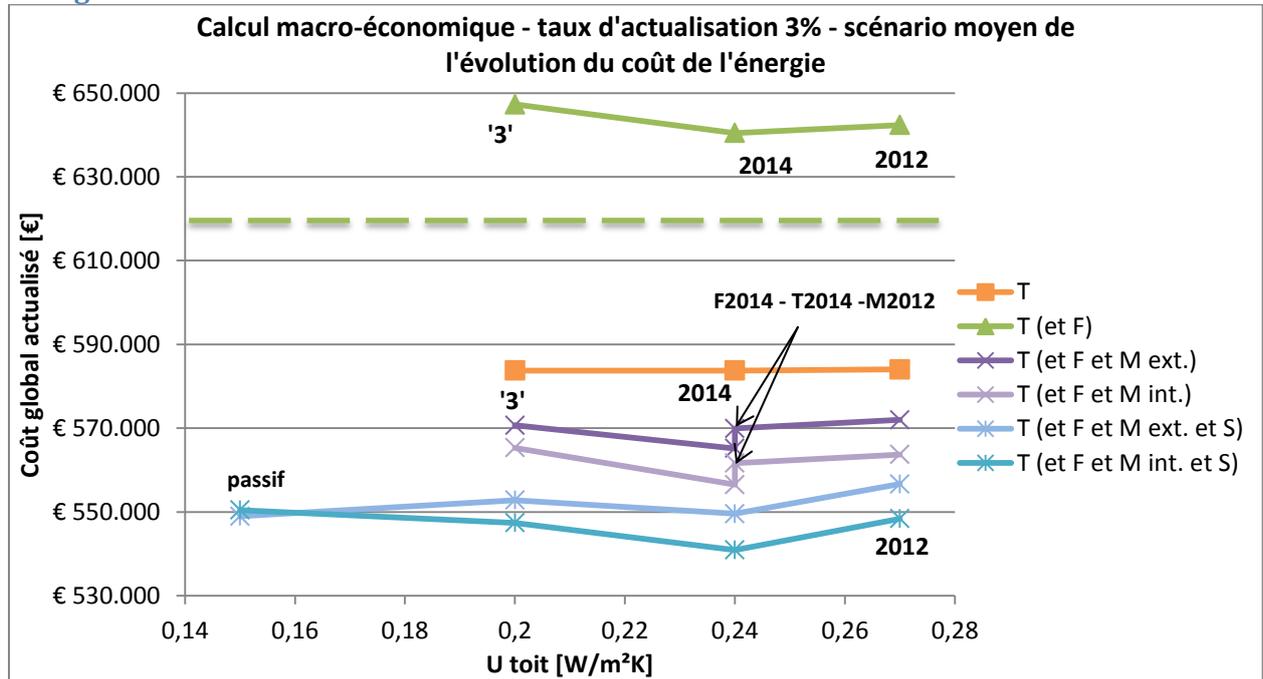
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé



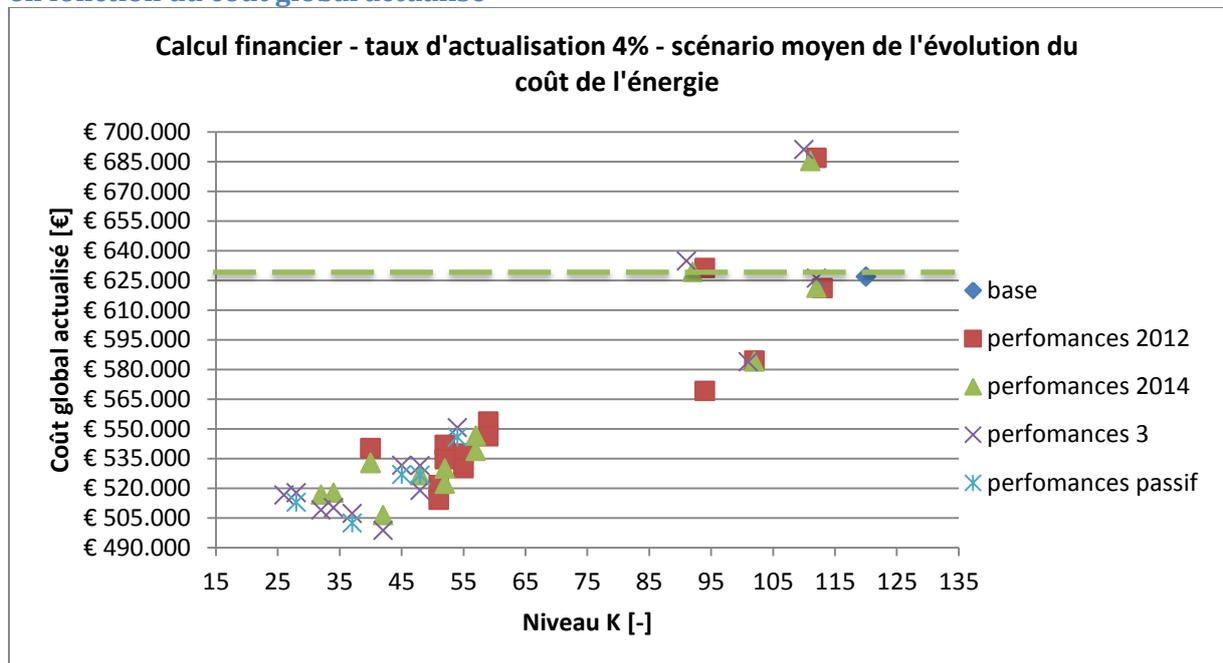
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé du U de la fenêtre



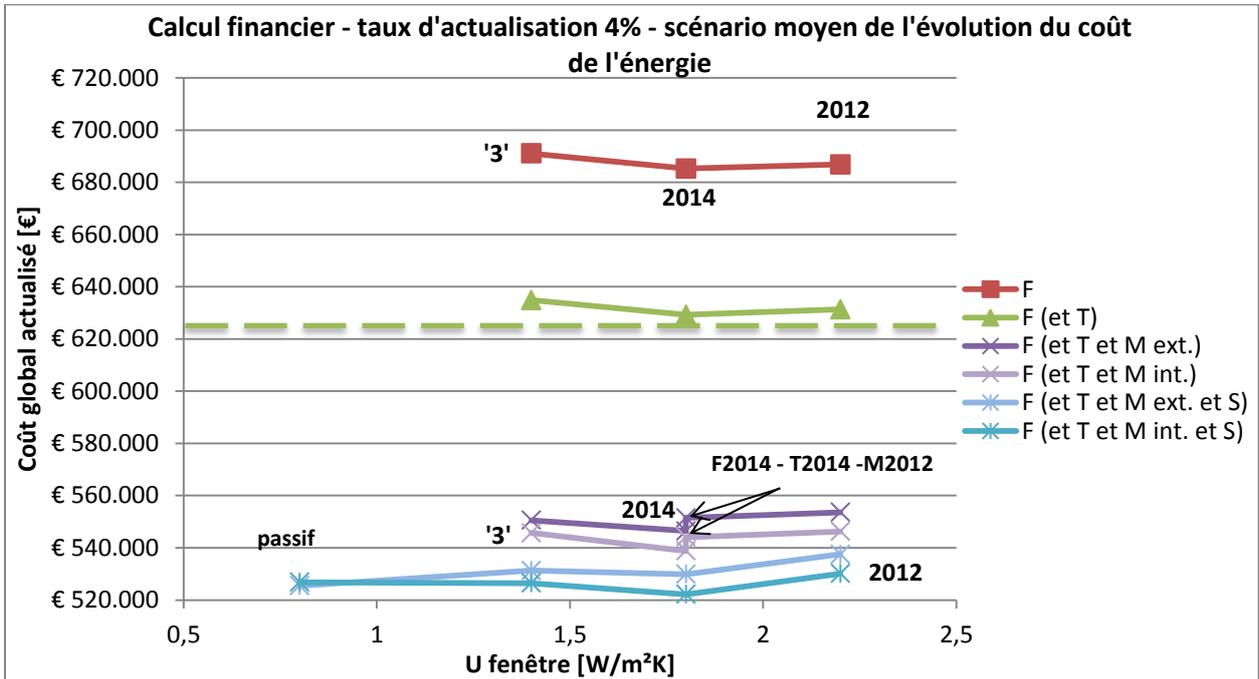
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé du U du toit



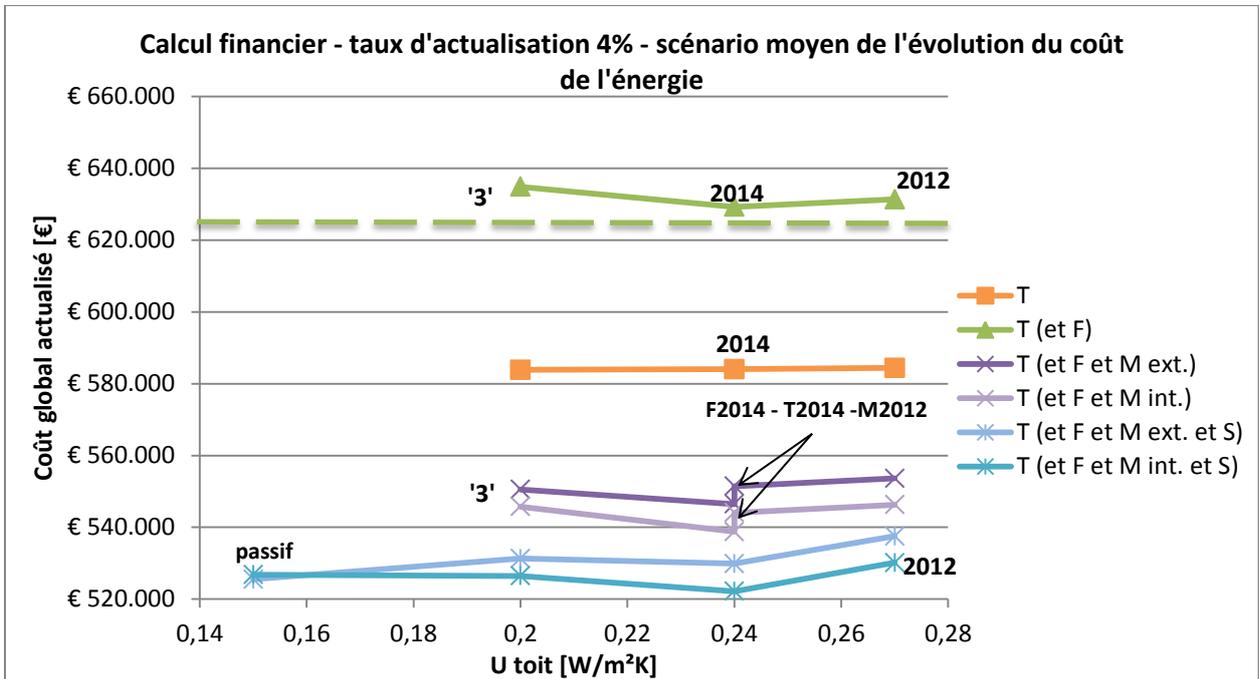
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé



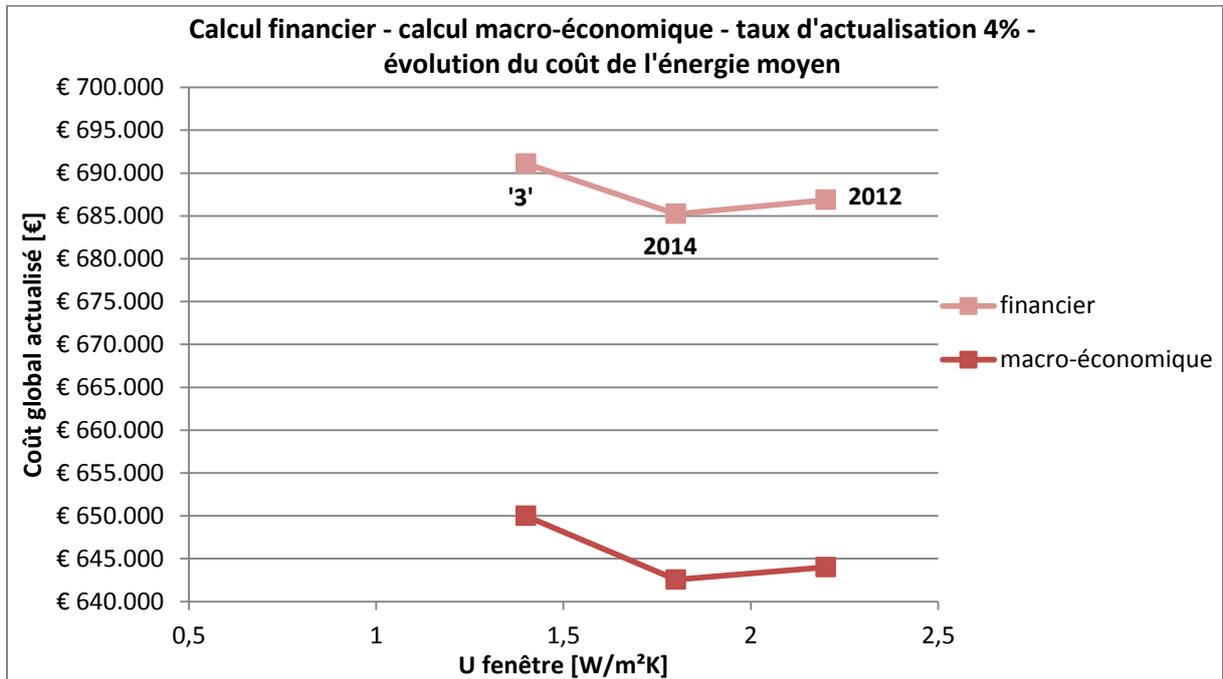
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé du U de la fenêtre



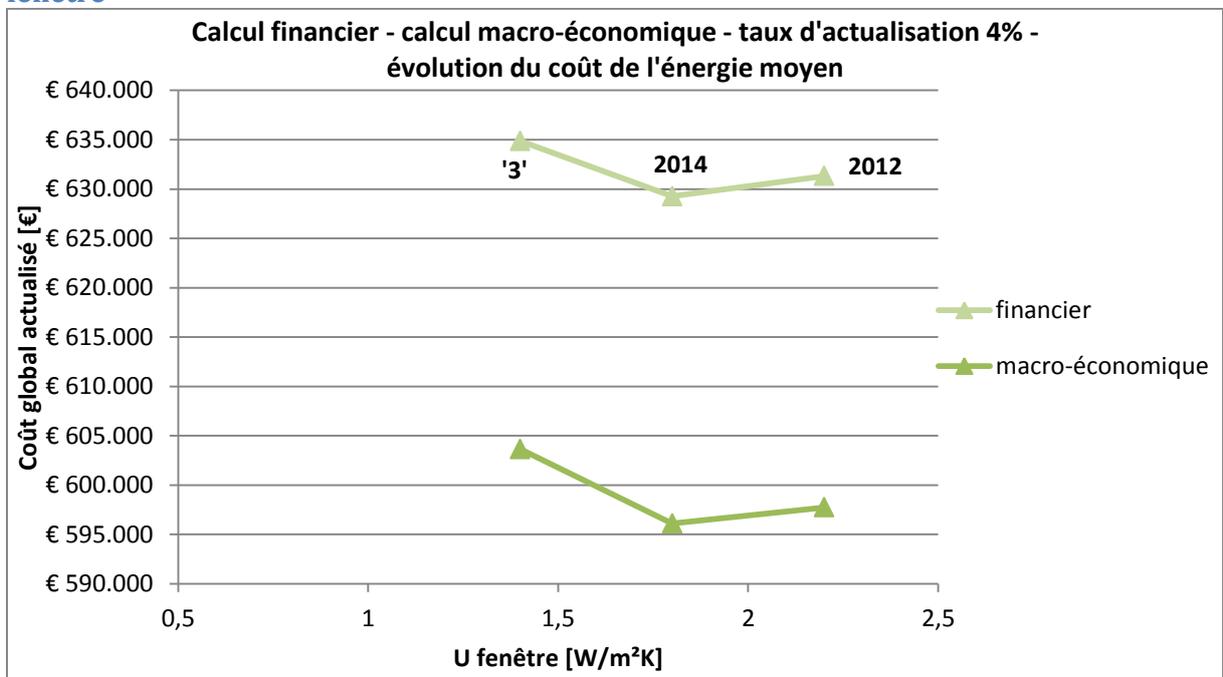
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé du U du toit



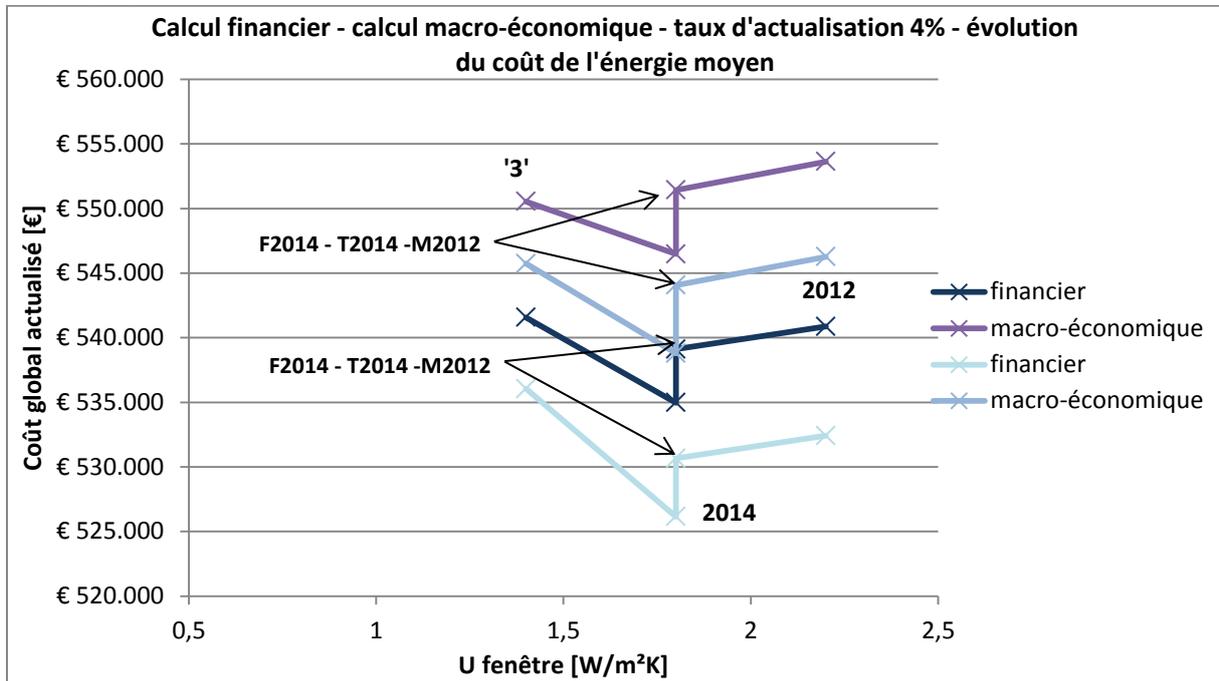
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres seules) : coût global actualisé du U de la fenêtre



Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit) : coût global actualisé du U de la fenêtre

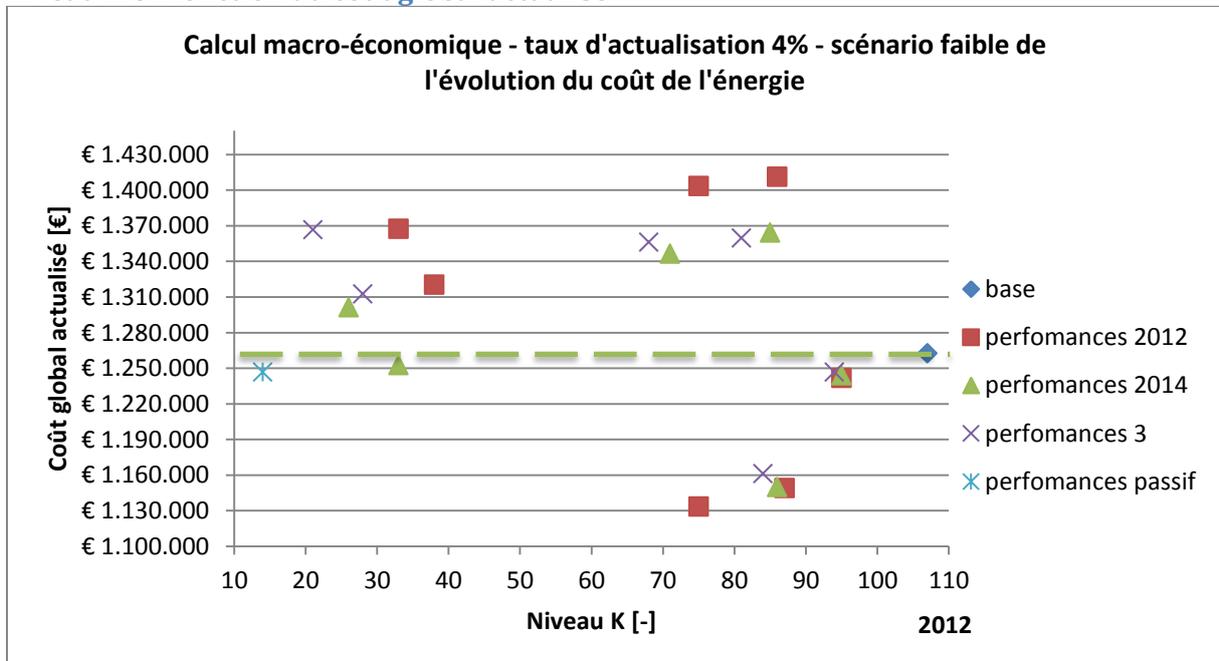


Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit+murs) : coût global actualisé du U de la fenêtre

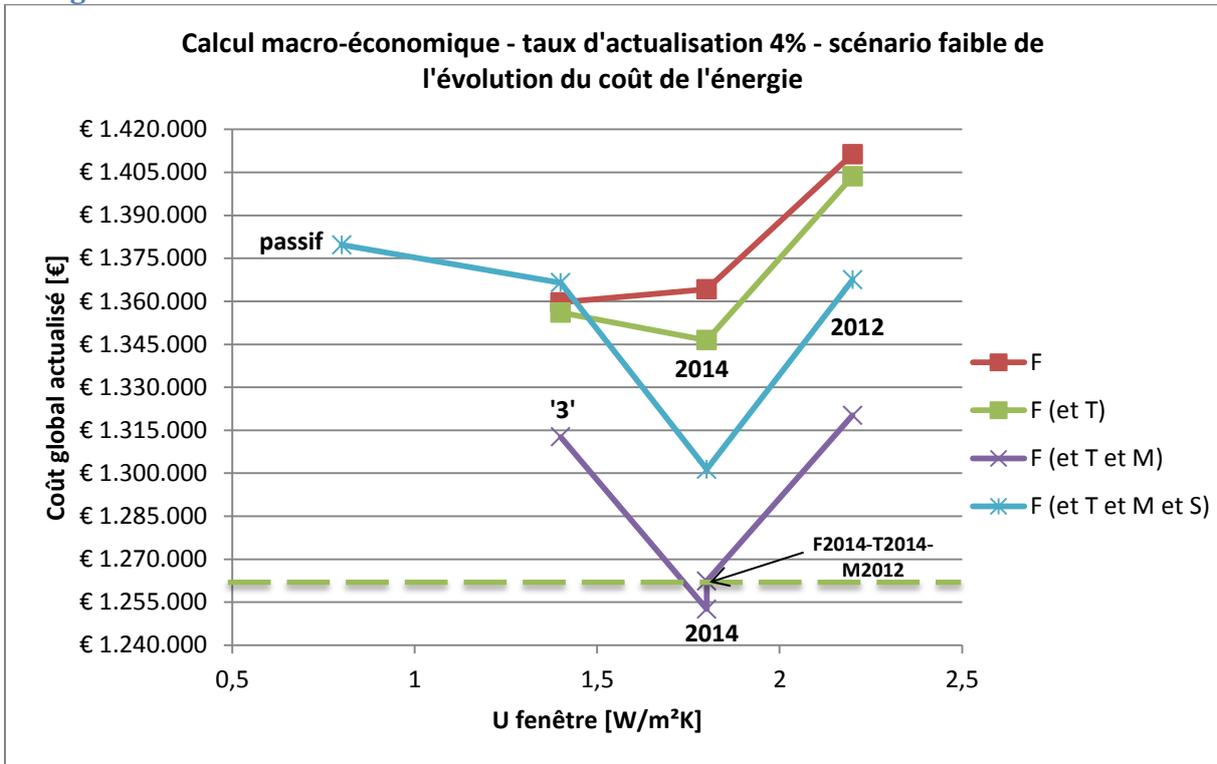


Graphiques supplémentaires EE2

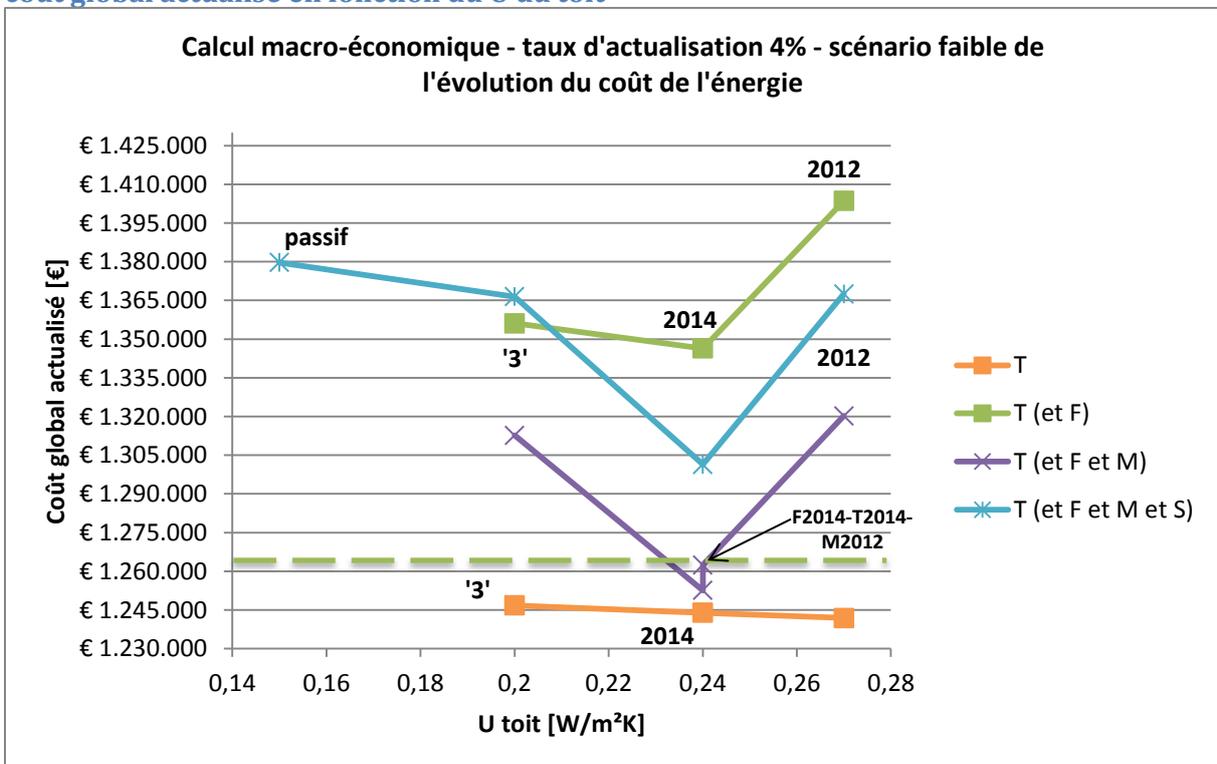
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé



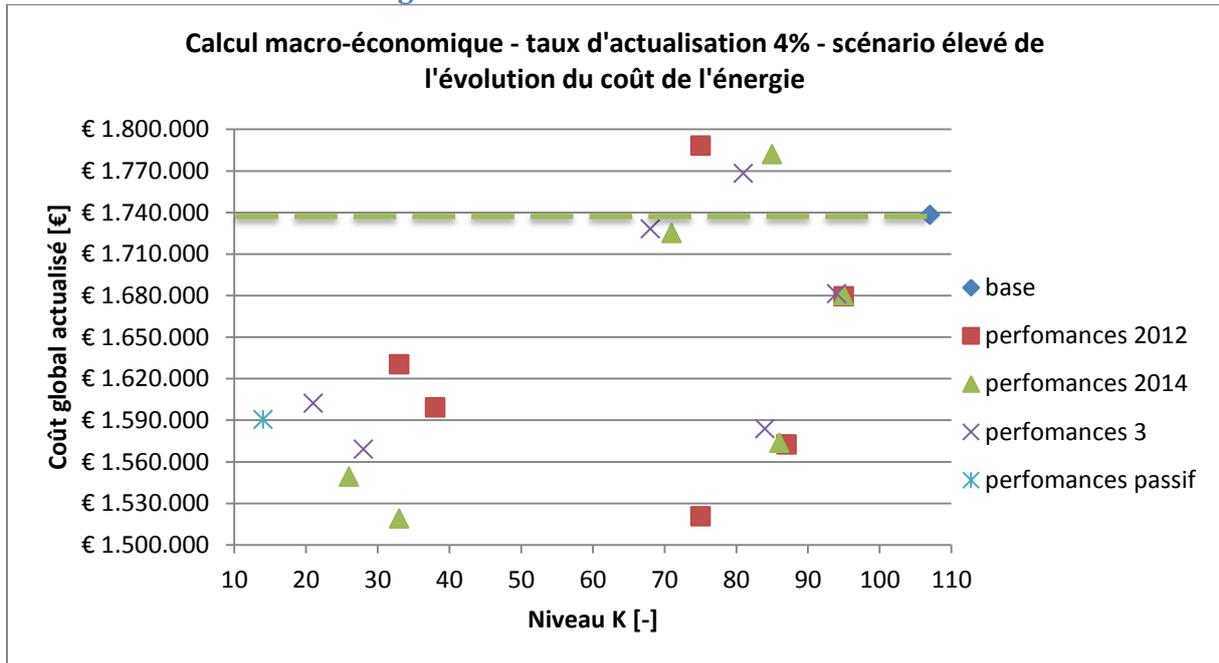
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



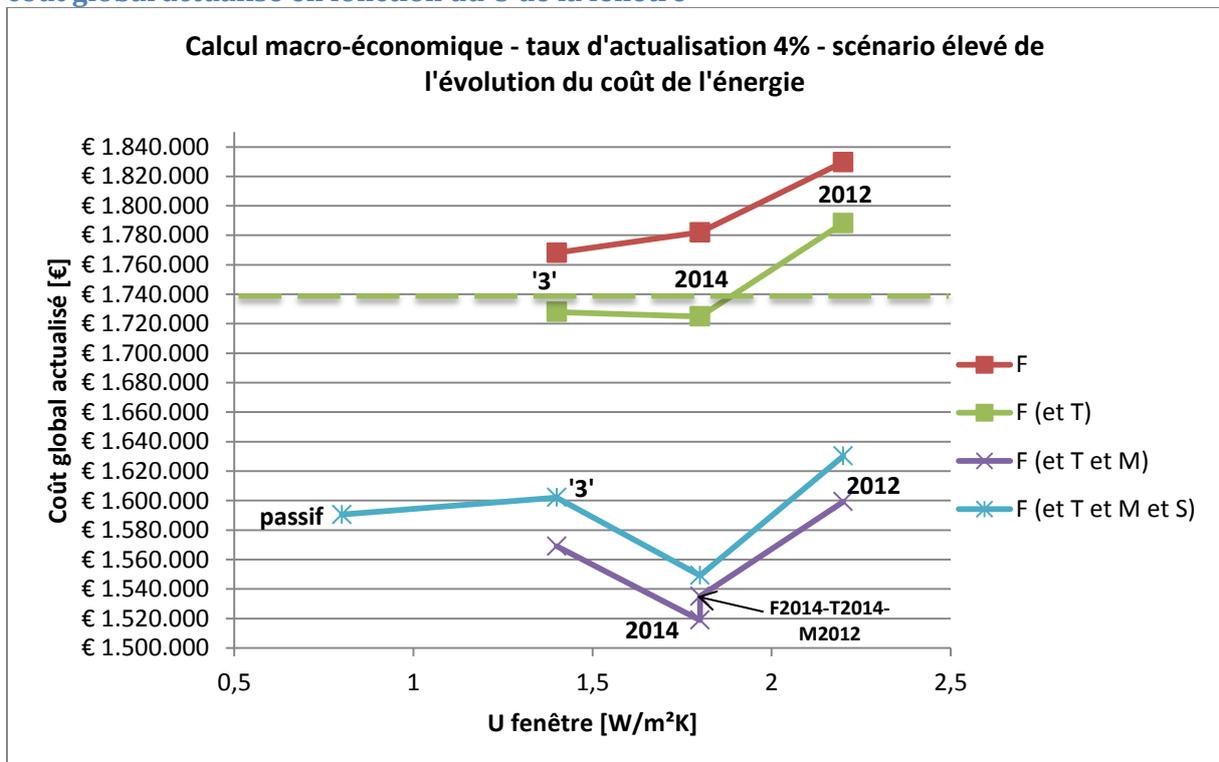
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



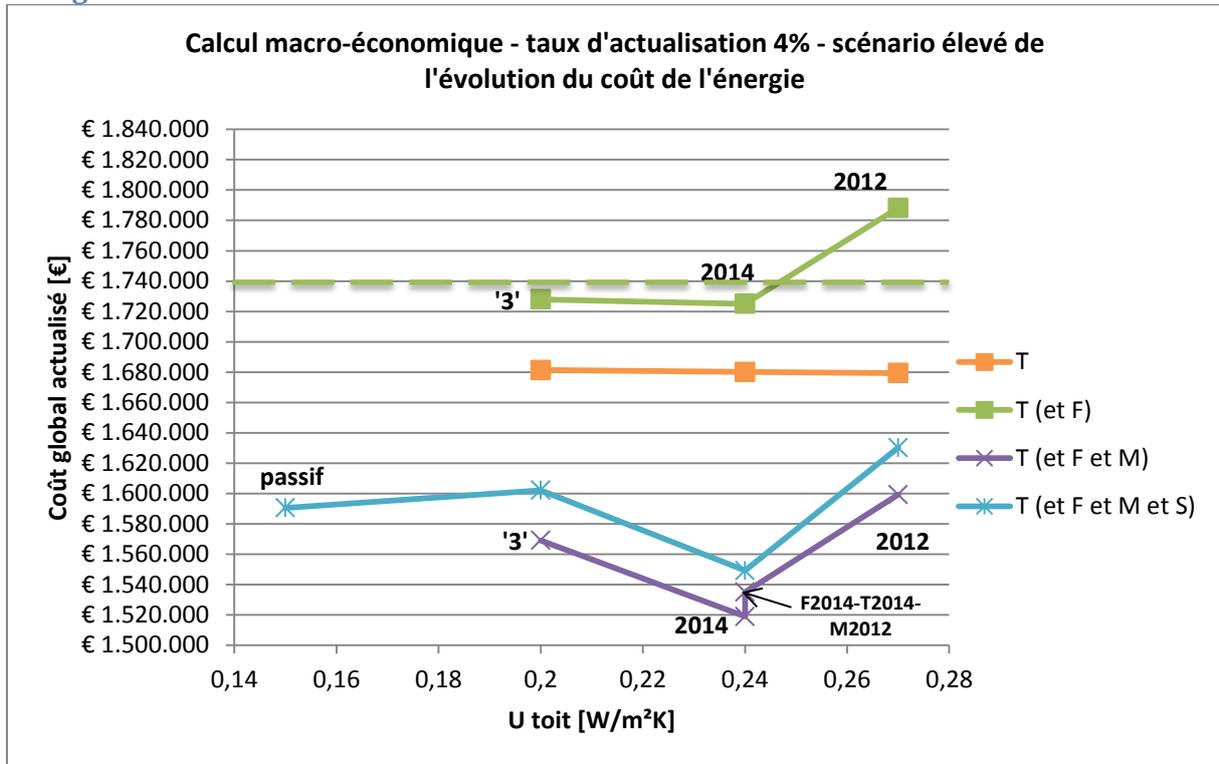
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé



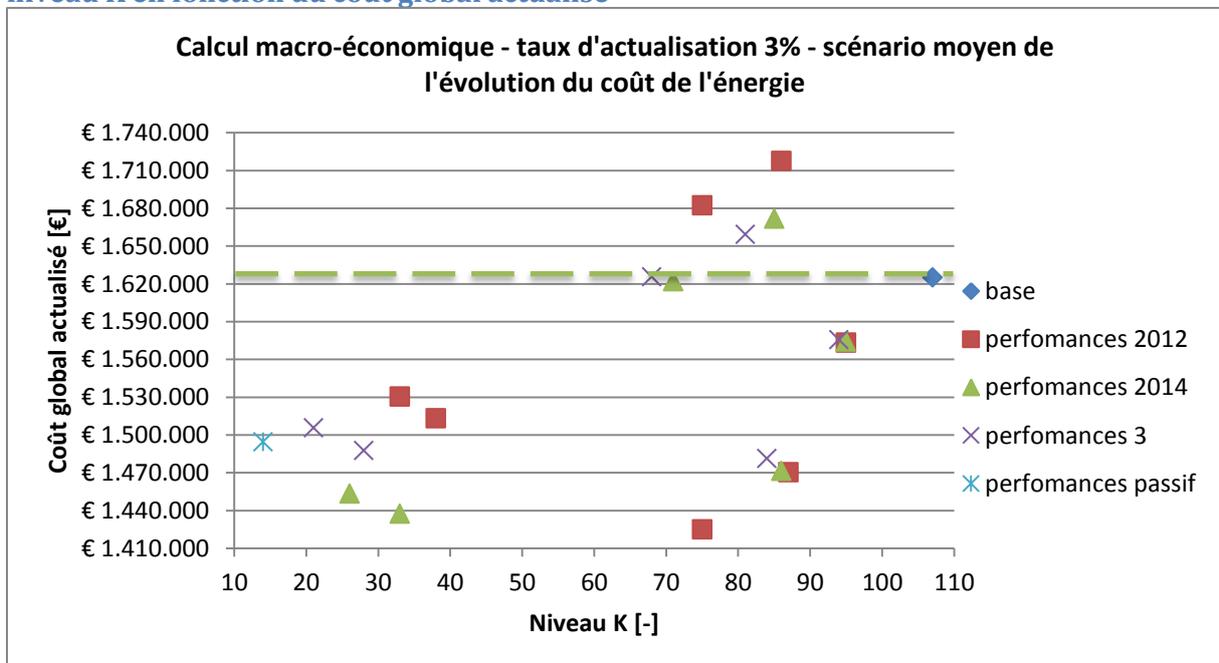
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre



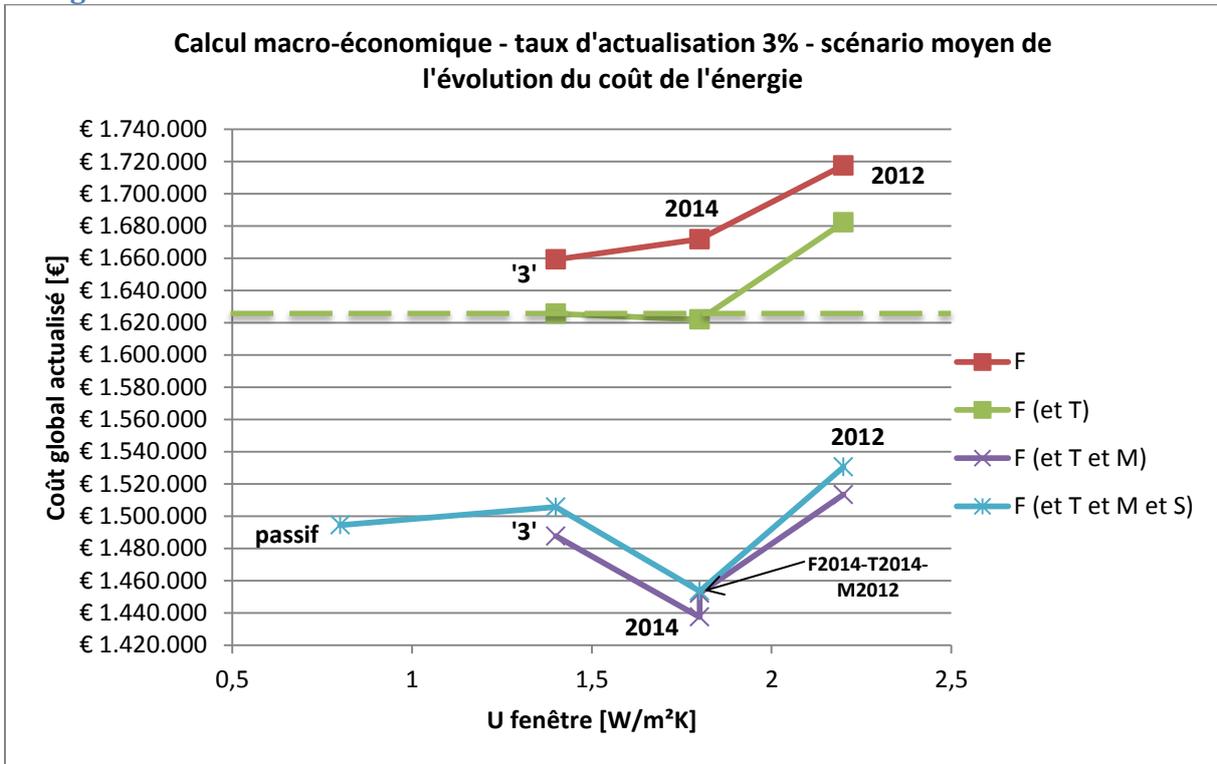
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U du toit



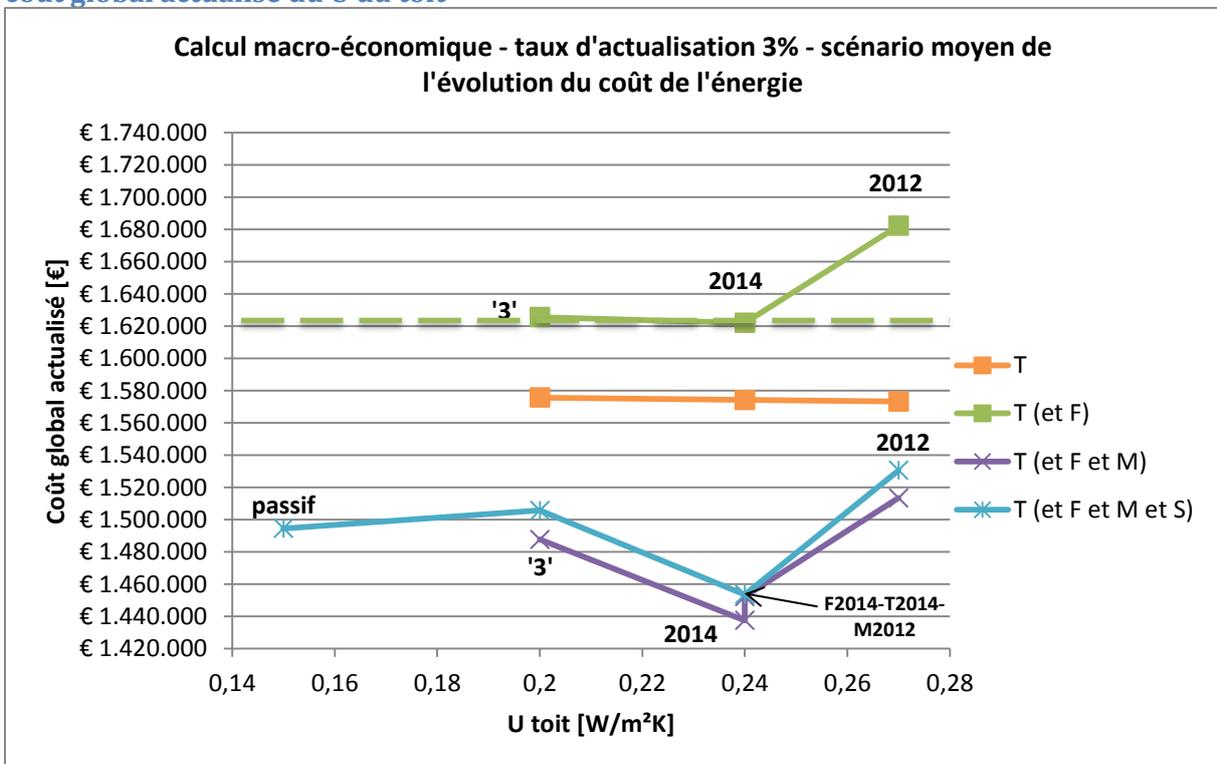
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé



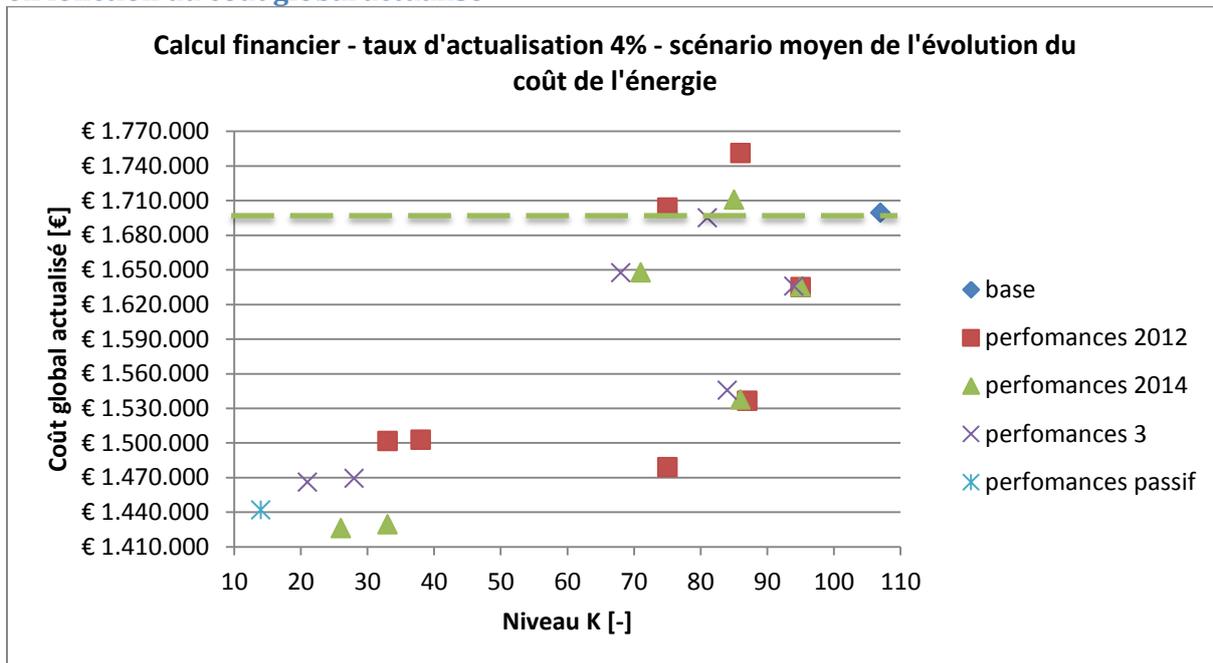
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé du U de la fenêtre



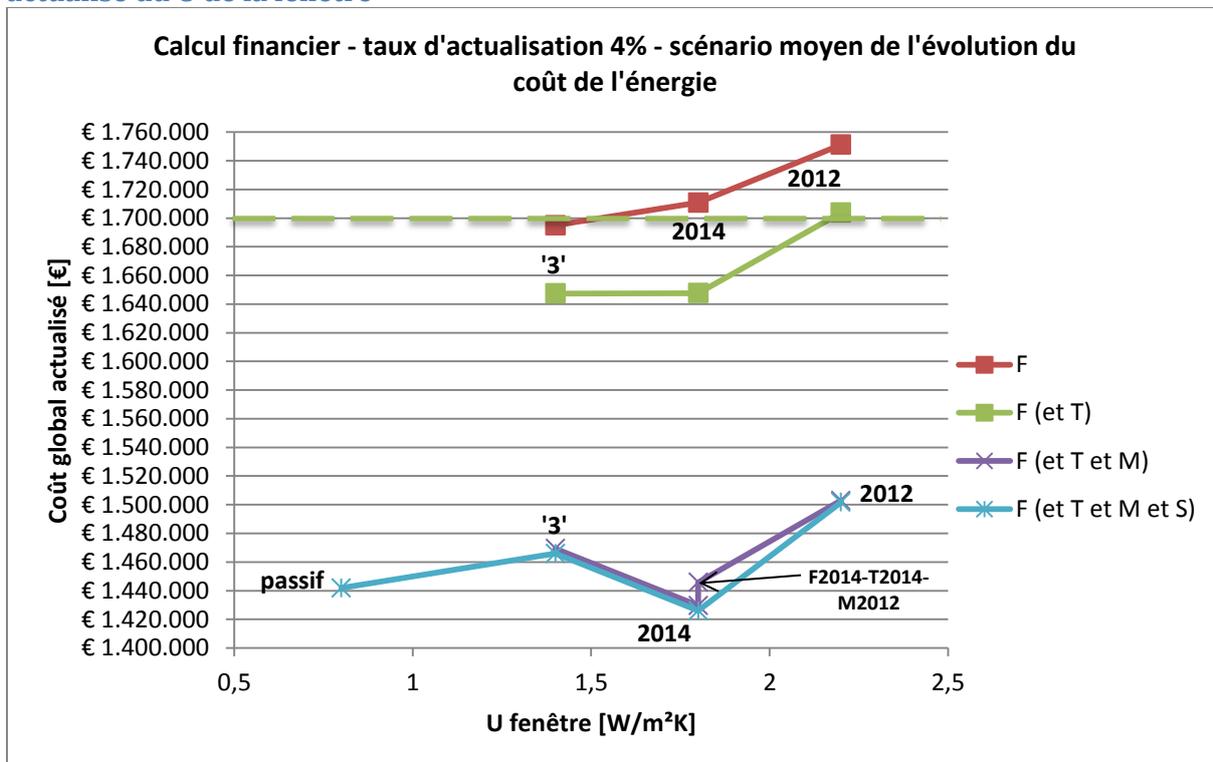
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé du U du toit



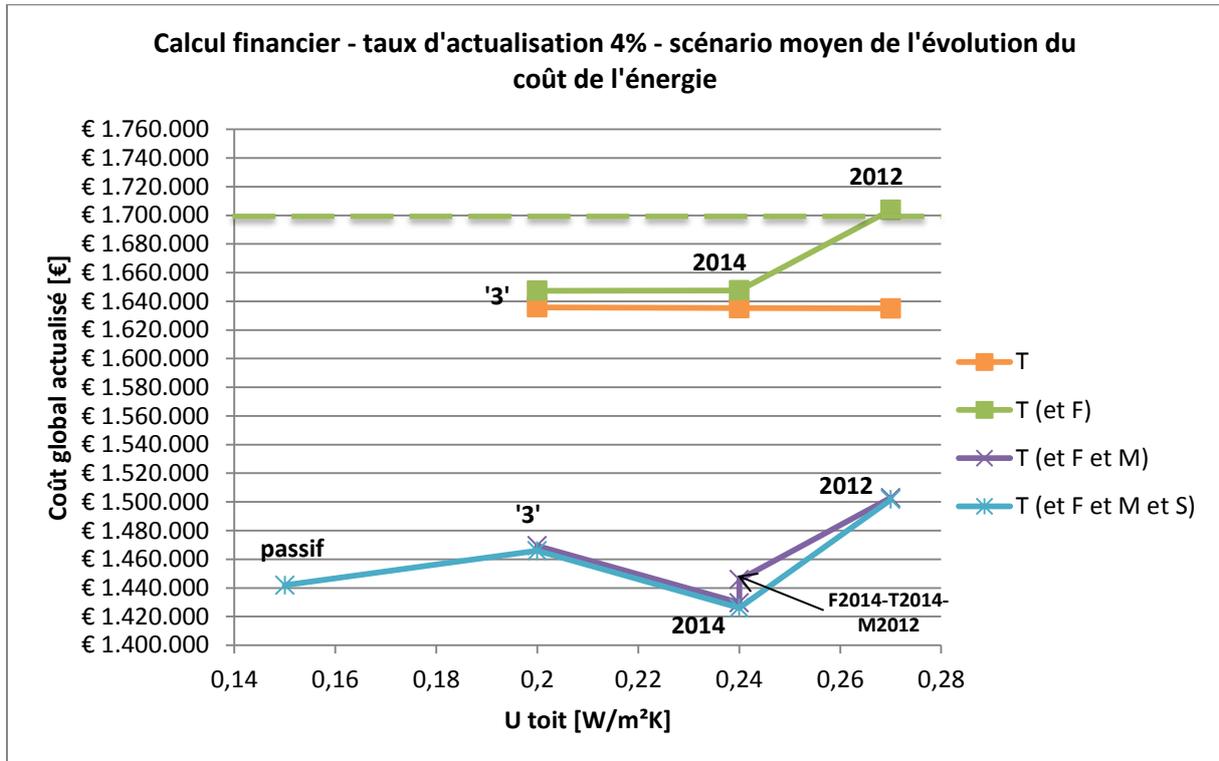
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: niveau K en fonction du coût global actualisé



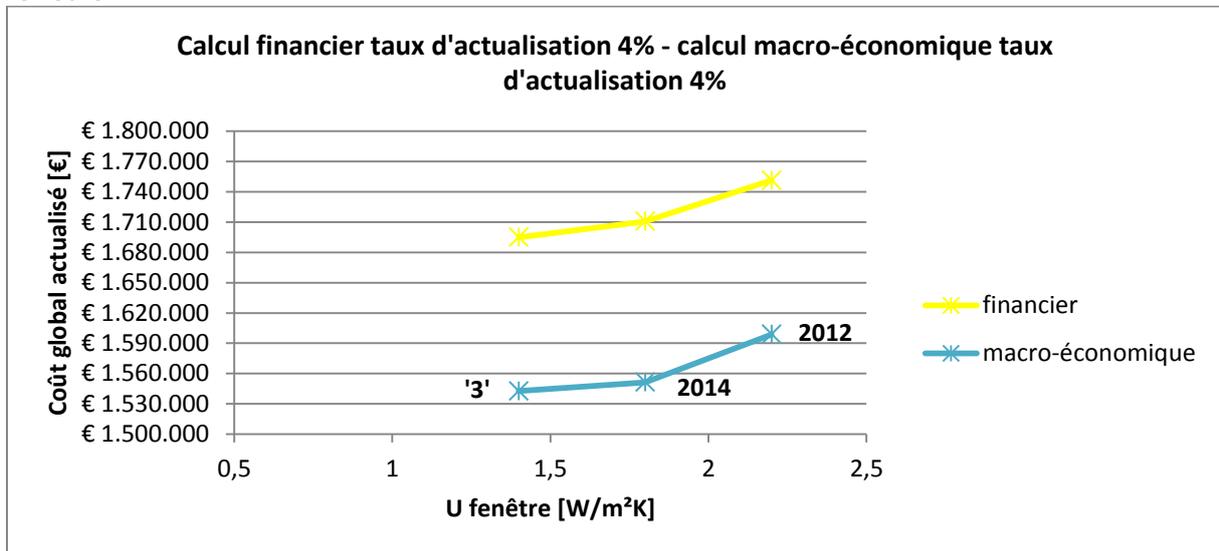
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé du U de la fenêtre



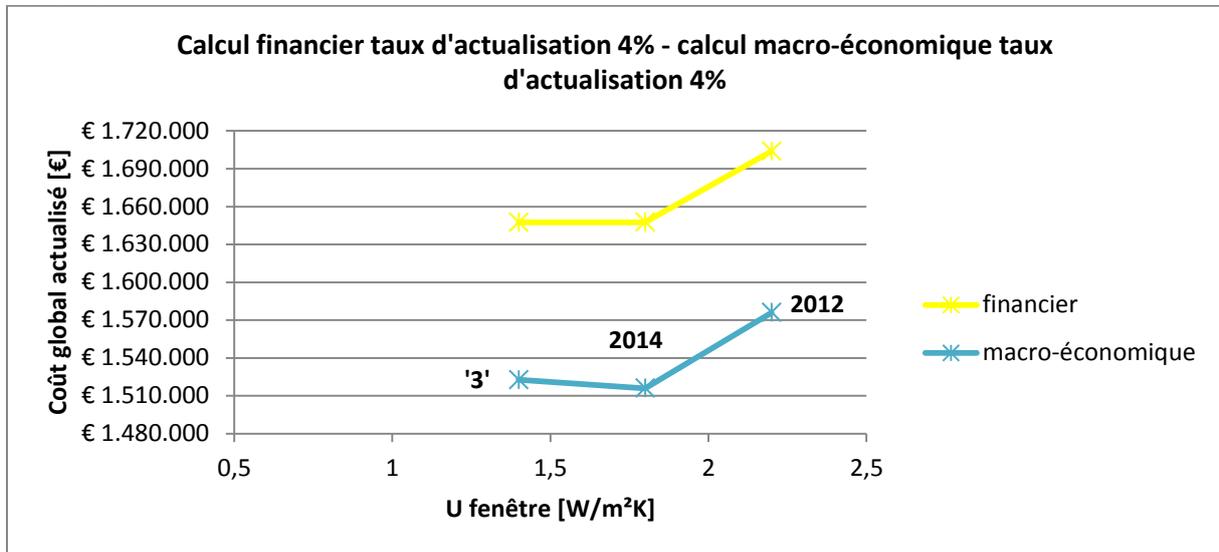
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : coût global actualisé du U du toit



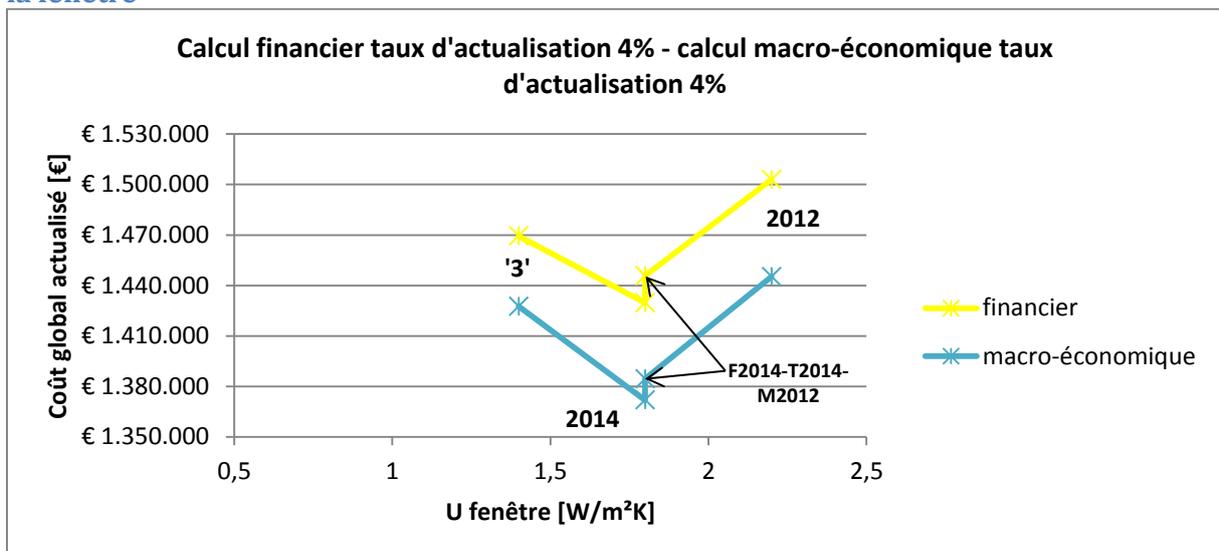
Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres seules) : coût global actualisé du U de la fenêtre



Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit) : coût global actualisé du U de la fenêtre

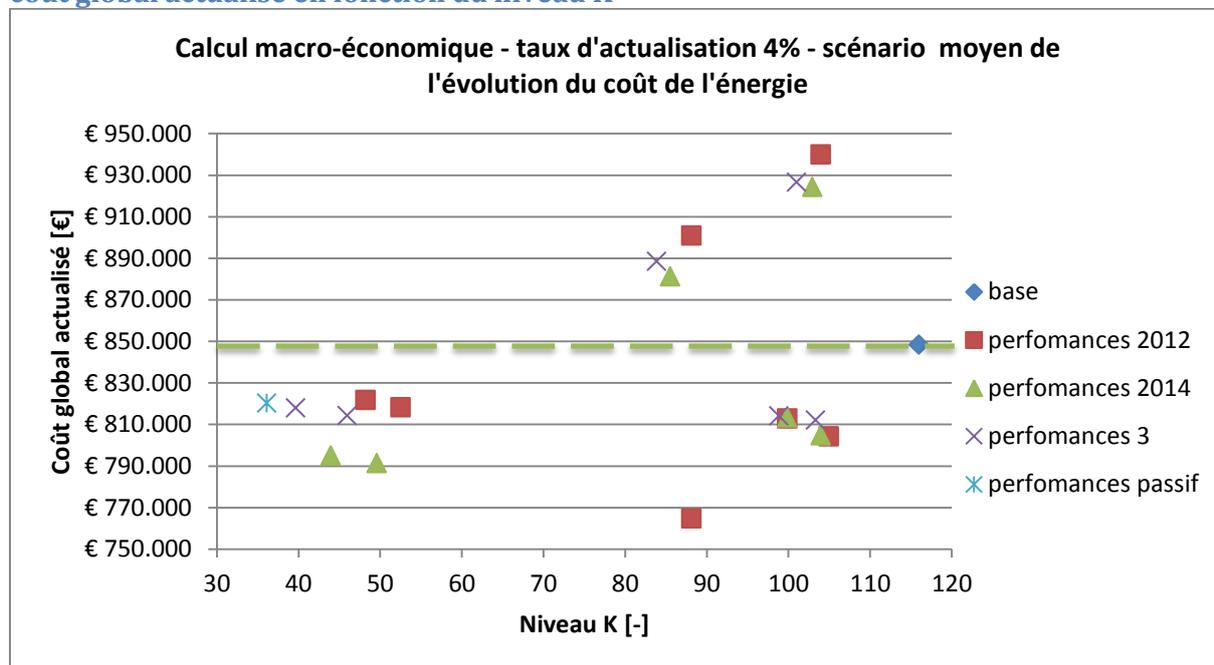


Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie (fenêtres+toit+murs) : coût global actualisé du U de la fenêtre

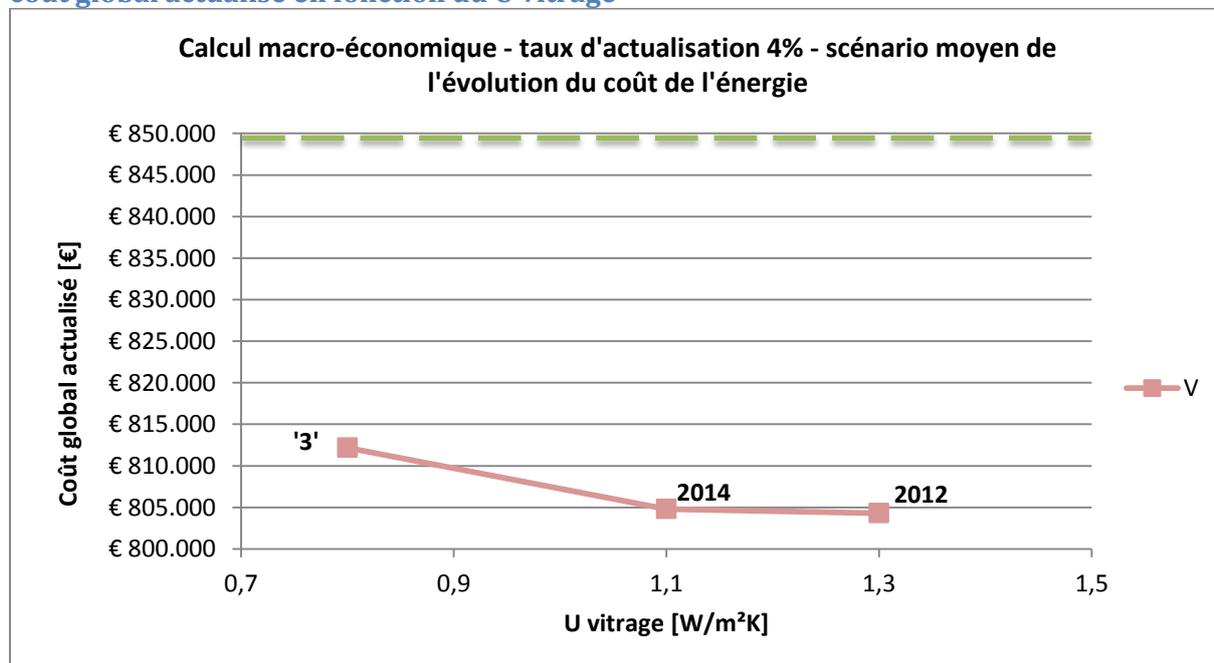


Bâtiment GLOBAL EXISTANT

Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie :
coût global actualisé en fonction du niveau K

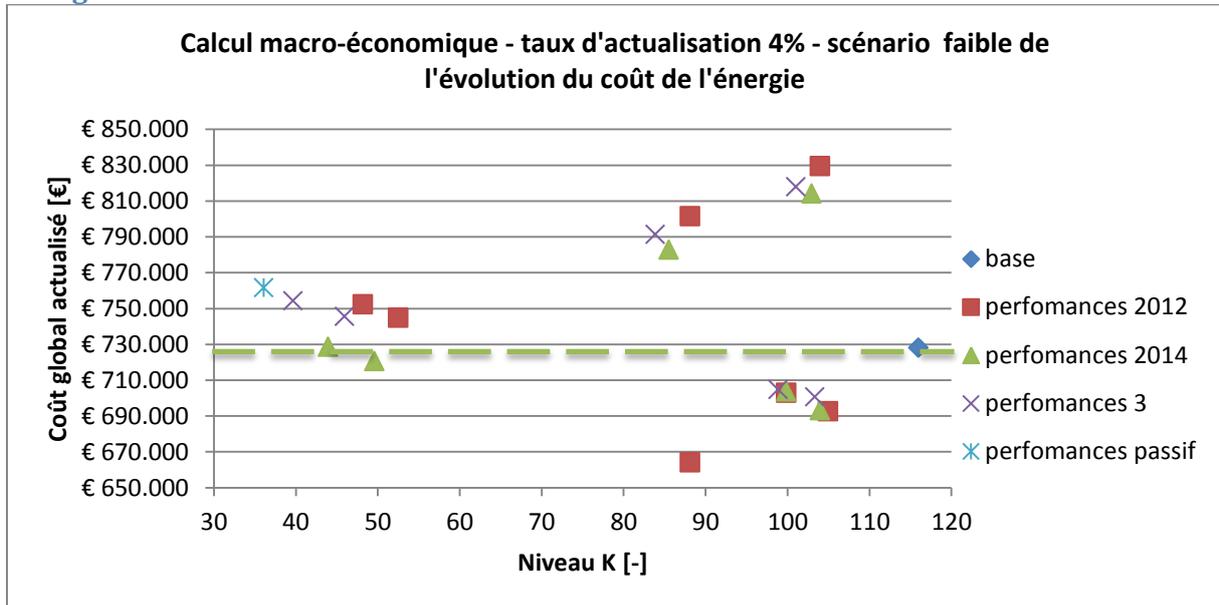


Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie :
coût global actualisé en fonction du U vitrage

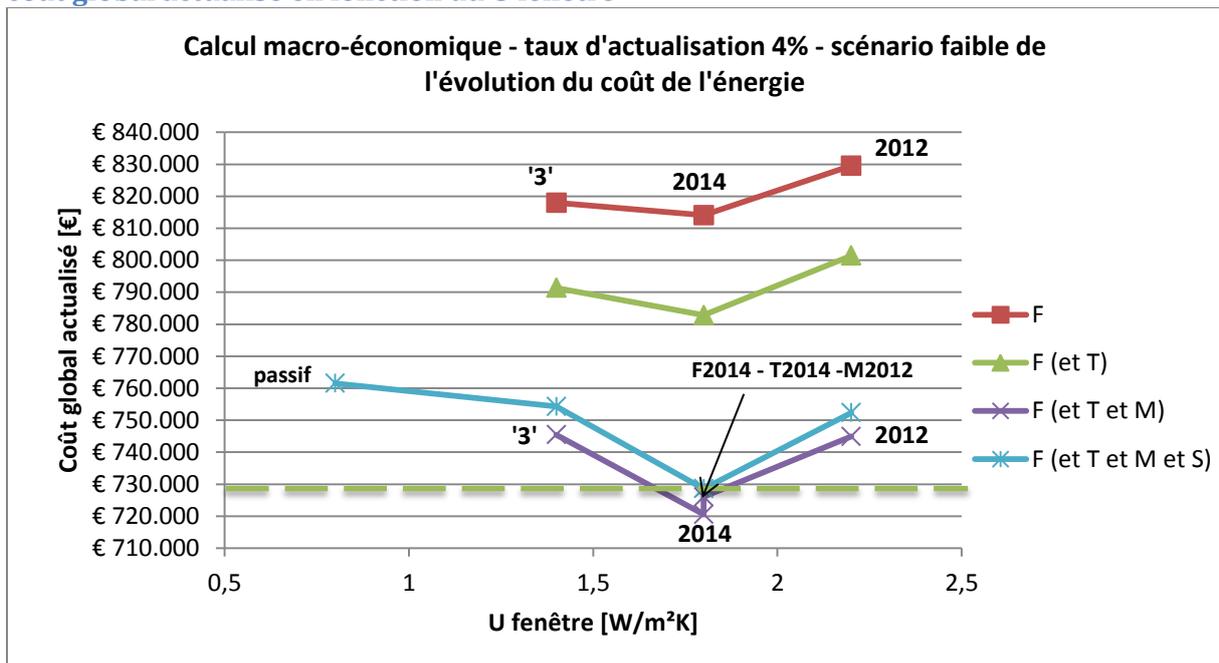


Lors du remplacement des vitrages, il n'existe pas d'optimum. Cette observation est la conséquence des caractéristiques choisies pour le vitrage, notamment son facteur solaire. Le coût global actualisé est intéressant par rapport au remplacement des fenêtres mais les performances thermiques (notamment le niveau K) sont faibles.

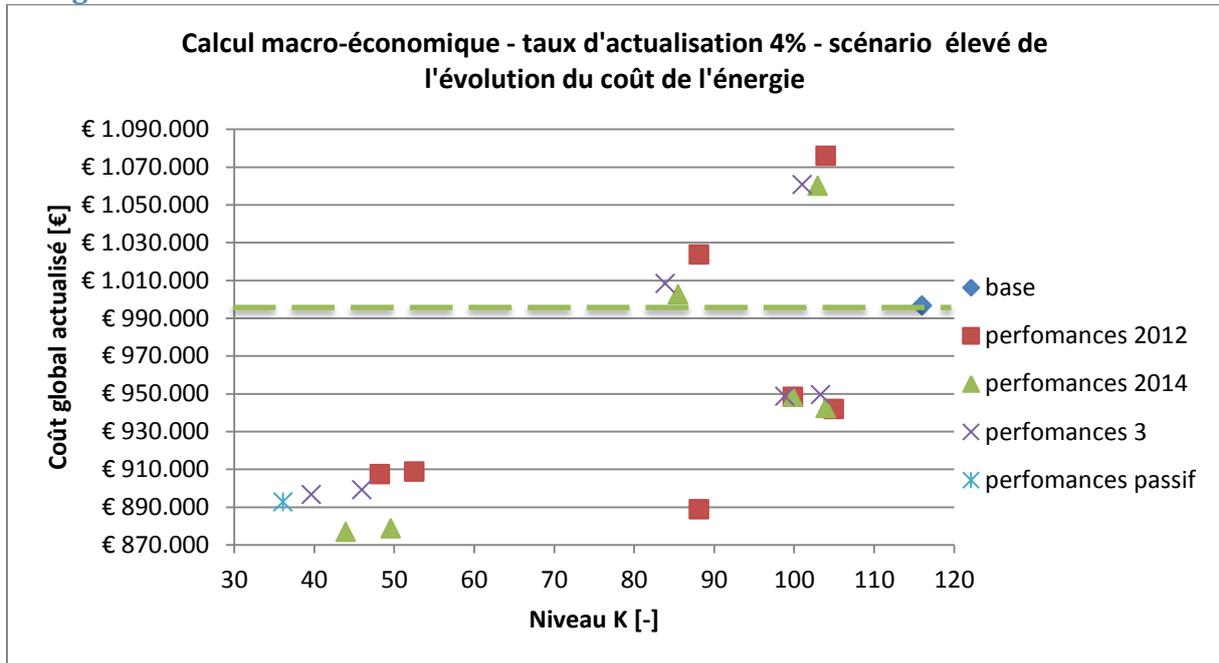
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



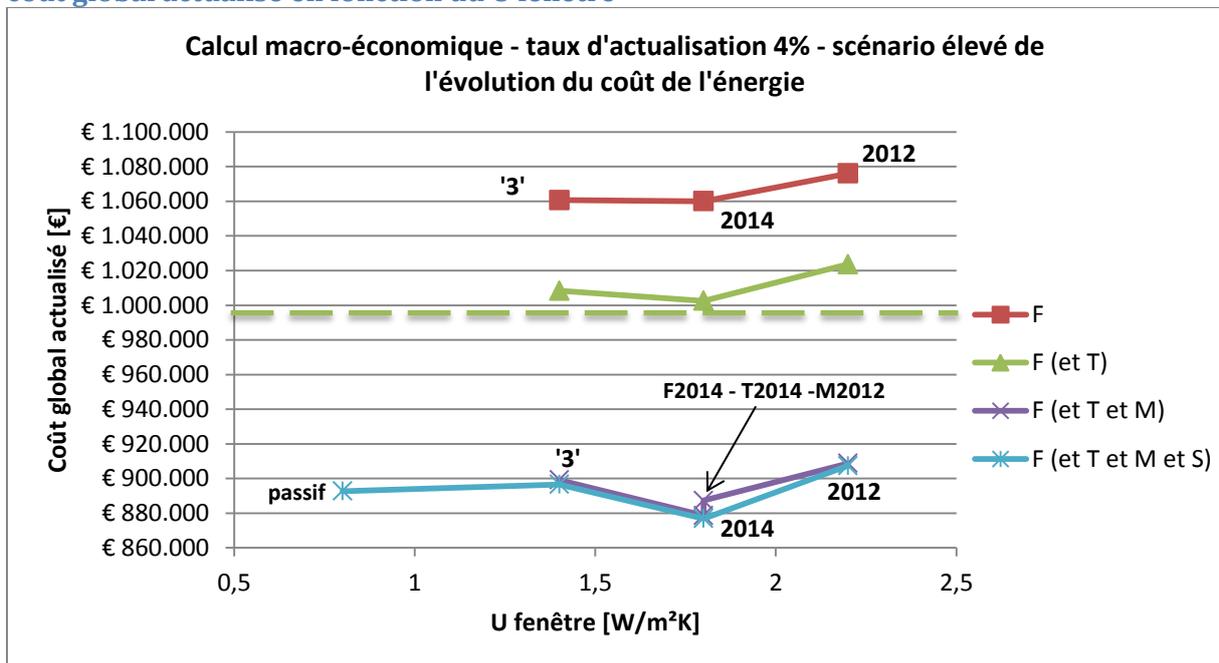
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre



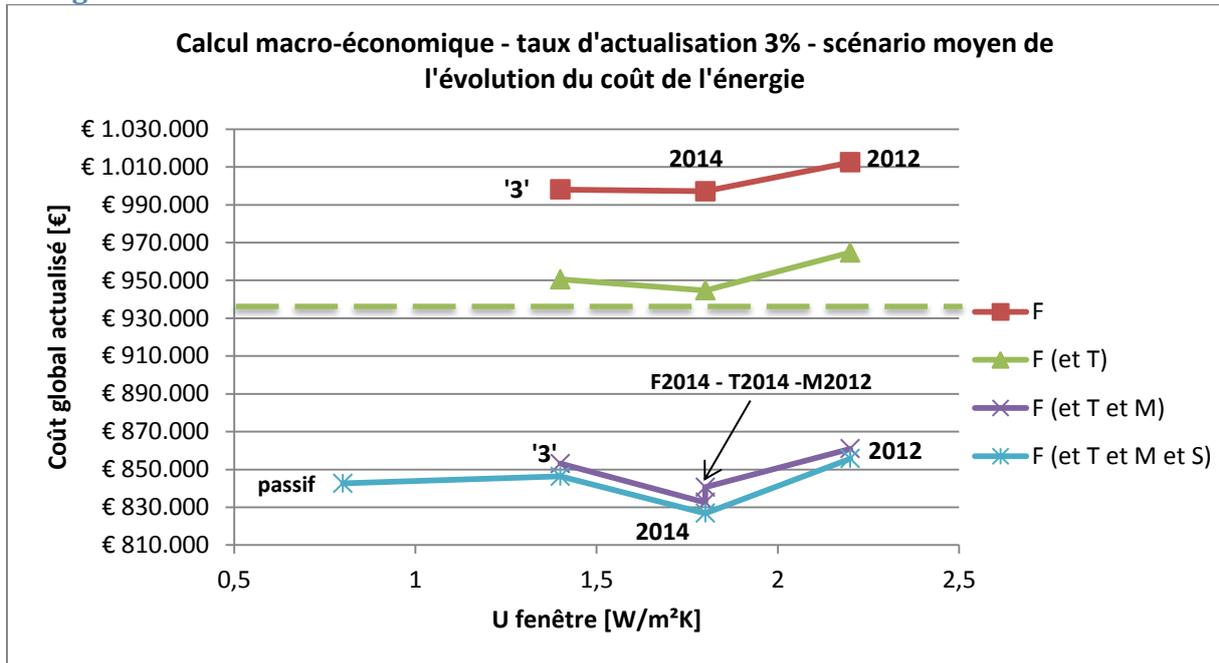
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du niveau K



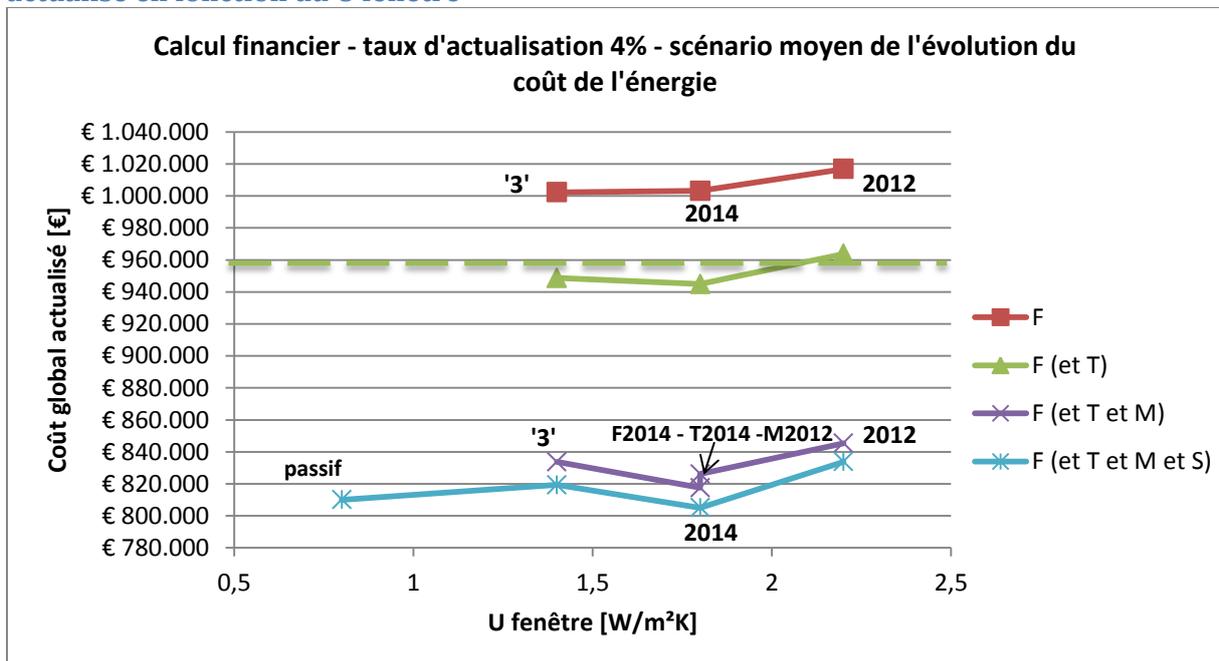
Calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario élevé du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre



Calcul macro-économique, taux d'actualisation 3%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre

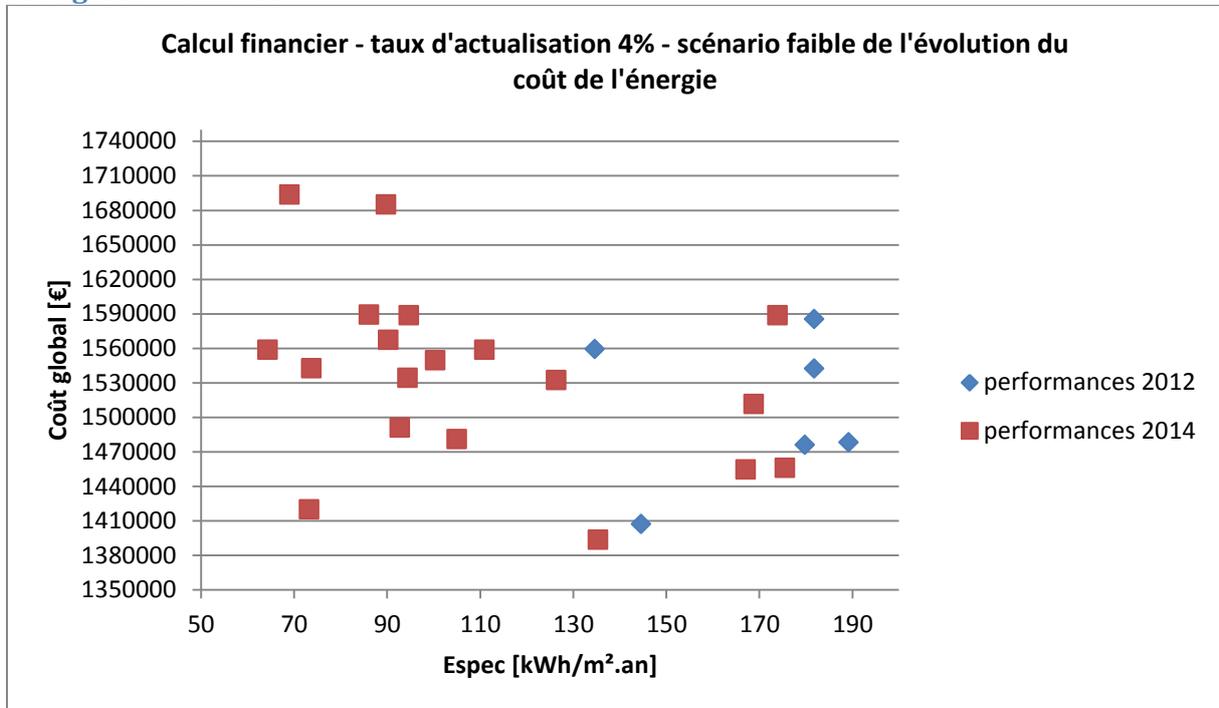


Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie: coût global actualisé en fonction du U fenêtre

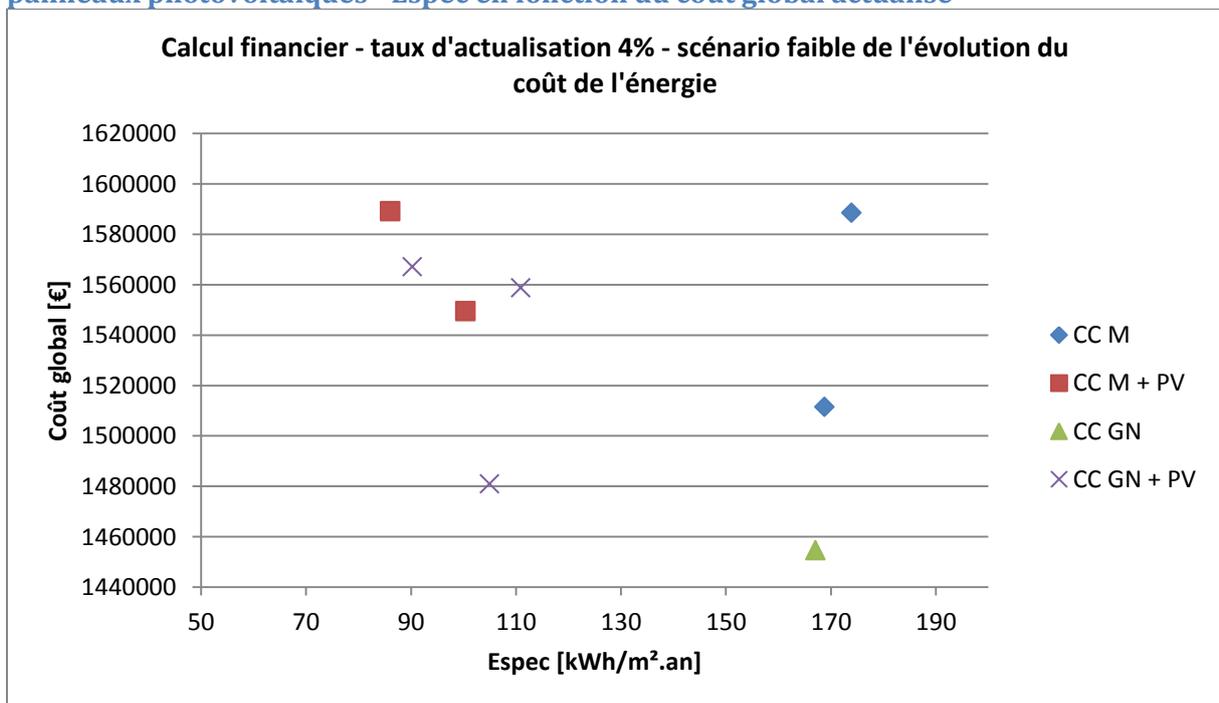


Graphiques supplémentaires EN

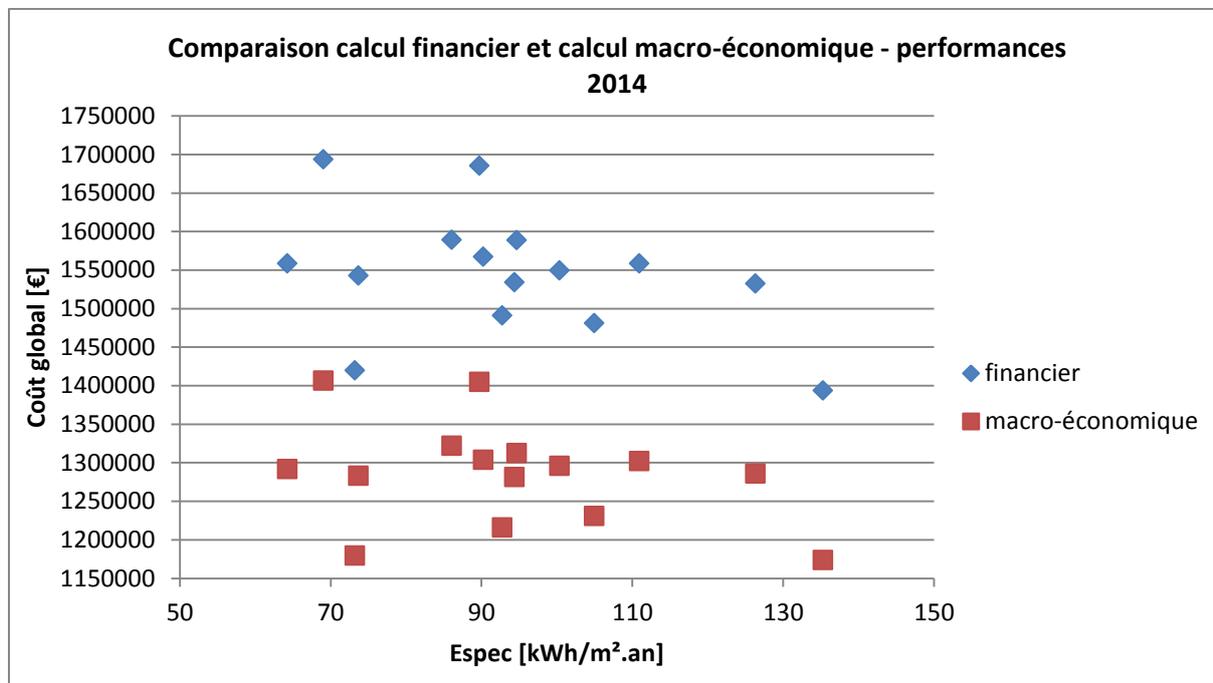
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie : comparaison niveau d'isolation pour les systèmes de chauffages - Espec en fonction du coût global actualisé



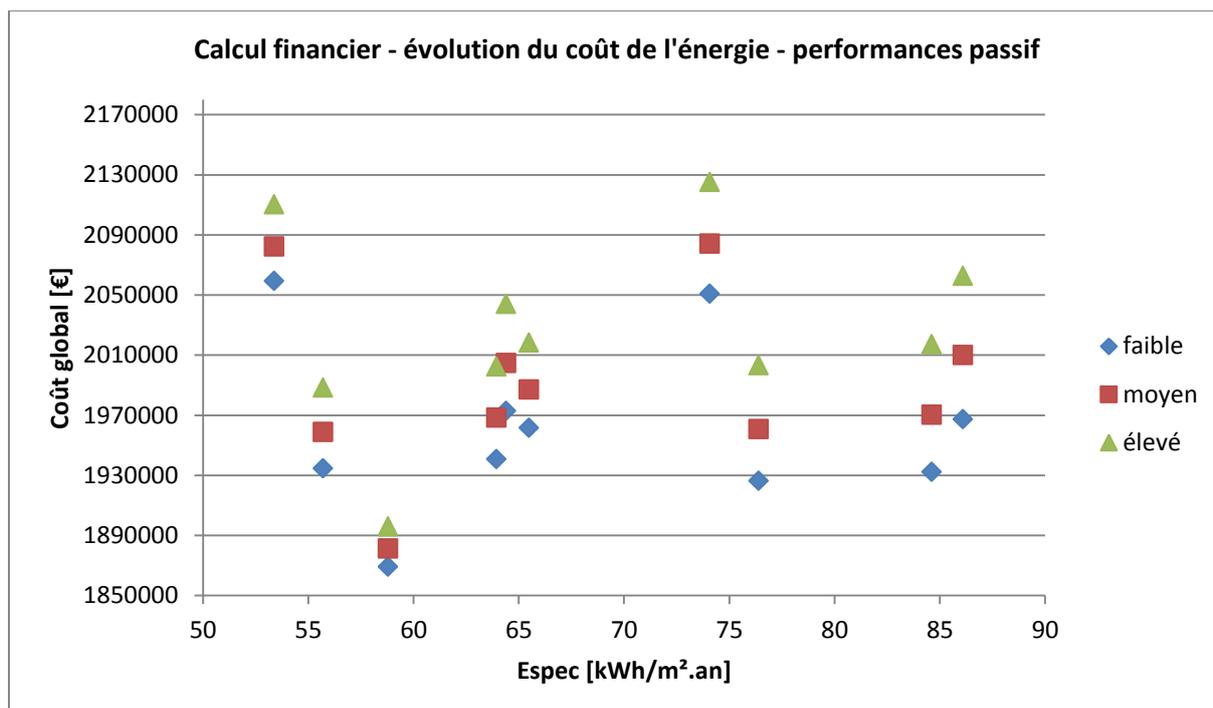
Calcul financier, taux d'actualisation 4%, scénario faible du coût de l'énergie : comparaison des systèmes de chauffage au mazout et au gaz naturel avec et sans panneaux photovoltaïques - Espec en fonction du coût global actualisé



Comparaison calcul financier et calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen du coût de l'énergie : Espec en fonction du coût global actualisé pour les mesures/groupes/variantes de performances 2014



Calcul financier, taux d'actualisation 4%, évolution du coût de l'énergie : Espec en fonction du coût global actualisé pour les mesures/groupes/variantes de performances « passif »



CO-ZEB

RAPPORT FINAL DU PROJET (7) RESULTATS POUR LES BUREAUX/SERVICES

Mai 2013

*Pour le compte du
Département de l'Energie et du Bâtiment durable
SPW-DGO4*



Sommaire

1. Introduction.....	4
2. Bâtiments de bureaux et services existants	5
PBE2 – Petit bâtiment de bureaux existant, 4 façades	5
GBE2 – Grand bâtiment de bureaux existant, 2 façades.....	14
3. Bâtiment de bureaux neuf.....	25
NB – Nouveau bâtiment de bureaux – 4 façades.....	26
4. Résultats globaux pour les bâtiments de bureaux et services existants.....	36
Bâtiment de bureaux et services « GLOBAL » existant	37
5. Résultats pour les bâtiments de bureaux et services neufs.....	40
Nouveau bâtiment de bureaux et services	40
6. Conclusions.....	45
7. ANNEXES.....	46
A) PBE 2 – Calcul macro-économique – Taux d’actualisation 4 % - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie	46
B) PBE 2 – Calcul macro-économique – Taux d’actualisation 3 % - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie	47
C) PBE 2 – Calcul financier – Taux d’actualisation 4 % - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie.....	49
D) PBE 2 – Calcul financier – Taux d’actualisation 6 % - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie.....	51
E) GBE 2 – Calcul macro-économique – Taux d’actualisation 4 % - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie	53
F) GBE 2 – Calcul macro-économique – Taux d’actualisation 4 % - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie (U fenêtres).....	54
G) GBE 2 – Calcul macro-économique – Taux d’actualisation 3% - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie	55
H) GBE 2 – Calcul financier – Taux d’actualisation 4% - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie.....	57
I) GBE 2 – Calcul financier – Taux d’actualisation 6% - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie.....	58
J) NB – évaluation du confort estival	60

K) NB – Calcul macro-économique – Taux d’actualisation 4% - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie.....	61
L) NB – Calcul macro-économique – Taux d’actualisation 3% - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie.....	62
M) NB – Calcul financier – Taux d’actualisation 4% - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie.....	64
N) NB – Calcul financier – Taux d’actualisation 6% - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie.....	65

1. Introduction

Ce document reprend les résultats « coût optimum » pour les bâtiments de bureaux et services, existants et neufs, ainsi que pour un bâtiment de bureaux et services « global » pondéré selon les proportions du parc immobilier wallon. Des graphiques généraux mais également des graphiques plus détaillés sont repris ci-dessous et permettent d'analyser l'optimum pour chaque bâtiment étudié.

Plusieurs taux d'actualisation, plusieurs scénarii d'évolution du coût de l'énergie et toutes les simulations ont été effectuées pour le calcul macro-économique et pour le calcul financier. Des résultats complémentaires sont disponibles dans les annexes de ce rapport.

Le détail de l'analyse des simulations effectuées est donné dans les paragraphes qui suivent, pour les deux immeubles de bureaux existants et pour le nouveau bâtiment de bureaux.

2. Bâtiments de bureaux et services existants

Pour les bâtiments existants, seules les modifications liées à l'enveloppe du bâtiment sont étudiées : placement de nouvelles fenêtres, isolation de la toiture, isolation des murs et/ou encore isolation de la dalle de sol.

L'analyse de l'optimum se réalise sur des graphiques du coût global actualisé en fonction du U [W/m²K] d'un élément de bâtiment. On observe également l'évolution du coût global lorsque cet élément de bâtiment est combiné à un ou plusieurs autres éléments de bâtiments.

Des graphiques proposant le coût global actualisé en fonction du niveau K du bâtiment sont également établis. Nous pouvons ainsi situer le bâtiment de référence par rapport aux autres bâtiments dont l'isolation de l'enveloppe est améliorée, selon les différentes mesures/groupe/variantes choisies.

Pour les bâtiments existants, il faut justifier la pertinence du U des parois imposé actuellement ou son évolution. Si l'optimum diffère de 15% par rapport aux U imposés en 2012 ou par rapport aux évolutions imaginées (U 2014 déjà planifiés), il faut expliciter la raison de l'écart et les mesures prises ou à prendre pour le réduire.

PBE2 – Petit bâtiment de bureaux existant, 4 façades

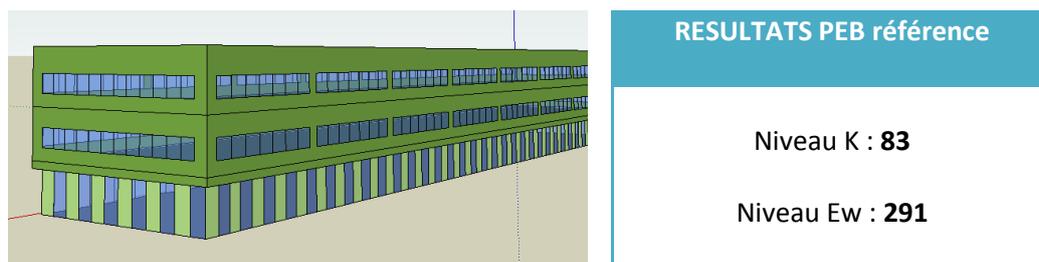


Figure 1 – Petit bâtiment de bureaux existant : niveau de performance caractéristique

Pour rappel, ce petit bâtiment de bureaux est un immeuble de faible compacité, ayant une emprise au sol assez importante, et comportant peu de niveaux. On considère qu'il a été construit dans les années 1970 et qu'il se situe dans un parc industriel.

Monobloc, il comporte 3 étages et est libre sur ses 4 façades. Les façades longitudinales sont respectivement orientées nord et sud; l'entrée se fait via une façade latérale.

Les caractéristiques complètes sont reprises dans le rapport « bâtiments de référence », pages 11 à 13.

Dans un premier temps, afin de visualiser l'ensemble des résultats sur un même graphe, ceux-ci sont exprimés en fonction du niveau K du bâtiment, qui ne correspond pas à une imposition stricte en rénovation, mais permet de se faire une idée du niveau d'isolation global atteint par le bâtiment rénové.

La Figure 2 permet de situer le petit bureau de référence (« base ») par rapport aux autres mesures/groupe/variantes étudiés. Celui-ci sera représenté, sur tous les graphes, par un triangle vert et une ligne pointillée verte permettra d'identifier facilement son coût global actualisé. On pourra de cette façon aisément identifier l'impact d'une mesure par rapport au bâtiment dans son état actuel. Les points délimitant le nuage de points sont également identifiés ; le nombre entre parenthèses se rapporte au numéro de la mesure/groupe/variante auquel ils se rapportent.

Le niveau K de l'immeuble de « base » est le plus élevé (83) et est associé à un coût global actualisé parmi les plus importants. Toutes les mesures/groupes/variantes étudiées ont un coût global actualisé supérieur au bâtiment de référence, et également un niveau K plus faible.

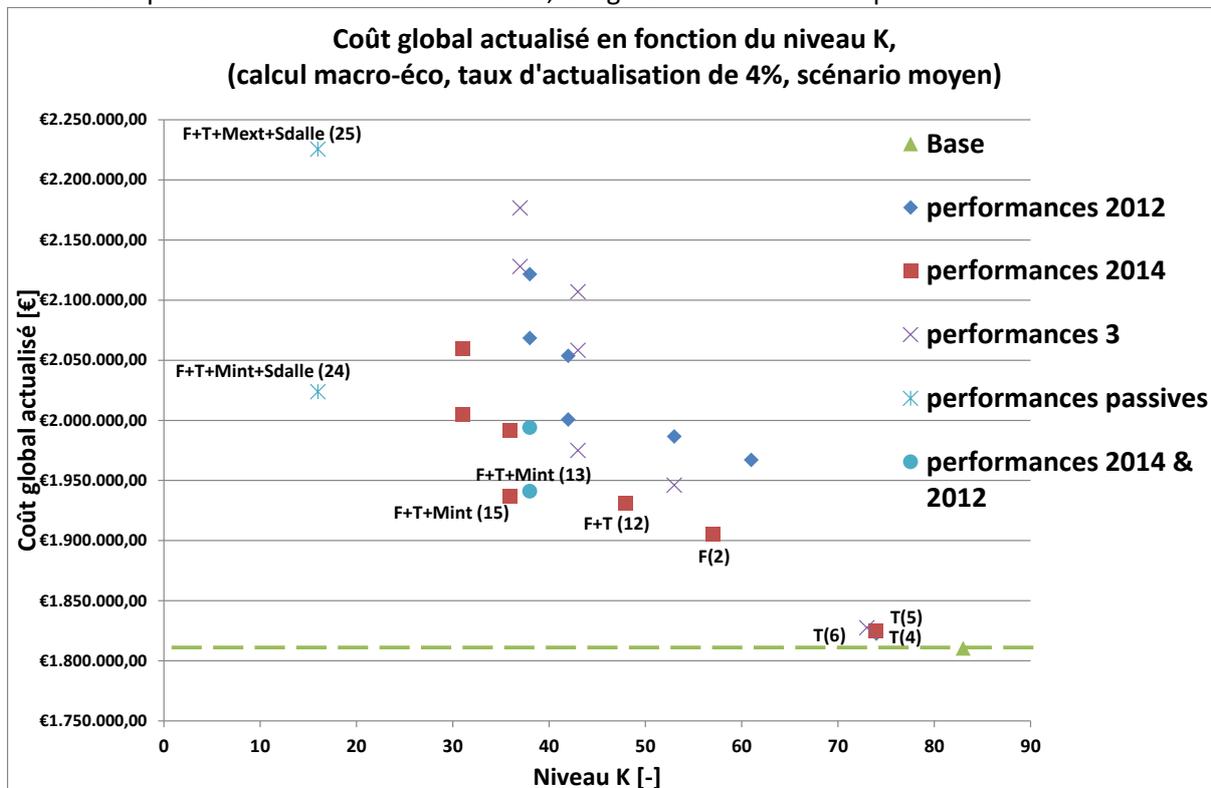


Figure 2 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

Pour un calcul macro-économique avec le taux d'actualisation de 4%, aucun des scénarii étudiés ne donne un coût global actualisé inférieur à celui généré par la situation de référence (voir graphiques en annexe A).

Dans les cas étudiés, pour que certains groupes/mesures/variantes choisis deviennent économiquement intéressants dans le cadre d'un calcul macro-économique, il faut considérer un taux d'actualisation de 3% et un scénario élevé d'évolution du coût de l'énergie (cf. Figure 3 ; les autres scénarii d'évolution de prix sont fournis en annexe B).

L'optimum économique, dans ce cas-là, correspond à l'isolation, selon les performances 2014, des façades (par l'intérieur), de la toiture et au remplacement des fenêtres.

A titre informatif, dans le cas du PBE2, aucun des mesures/groupes/variantes envisagés n'est rentable dans le cadre d'un calcul financier (selon les hypothèses étudiées, cf. annexe C).

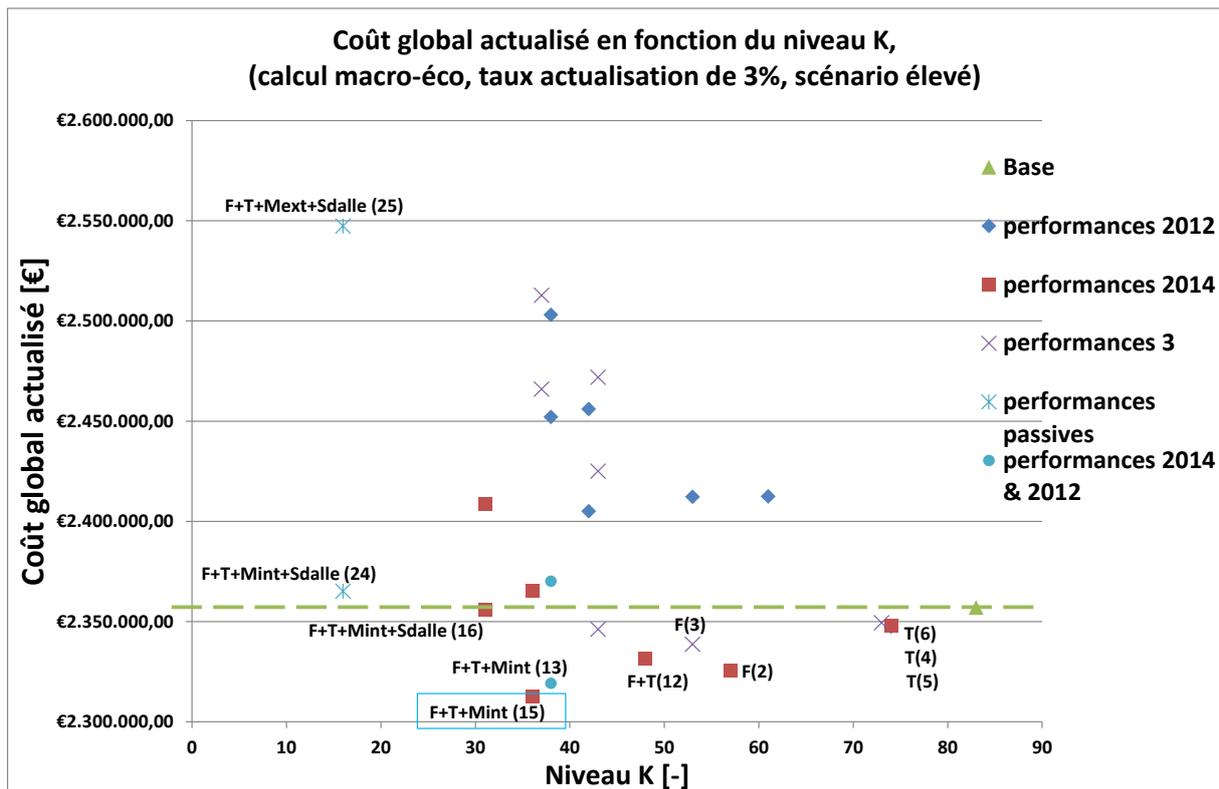


Figure 3 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 3%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie

Le paragraphe suivant analyse certains éléments de bâtiment seuls (fenêtre et toit), afin d'observer leur influence sur la performance énergétique du bâtiment.

La Figure 4 illustre l'évolution du coût global actualisé lors du remplacement des fenêtres. Les fenêtres existantes sont remplacées par des fenêtres ayant un $U_w=2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ avec un facteur solaire de 0,63, un $U_w=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ et un facteur solaire de 0,50 ou un $U_w=1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ avec un facteur solaire de 0,38.

Un optimum est clairement identifiable : la fenêtre ayant les performances thermiques de 2014.

Le gain en termes de coût global actualisé est de 61 905 € par rapport à la solution F2012, et 4 0930€ par rapport à la solution F3.

On remarque que, bien que la fenêtre F3 ait un coefficient de déperditions thermiques plus performant que la fenêtre F2014, le coût global actualisé qui résulte de l'application de cette mesure est plus élevé que celui résultant de la mesure 2014. Cela implique que le coût plus élevé de ce type de vitrage solaire n'est pas compensé par le fait qu'il diminue les besoins en refroidissement et en chauffage du bâtiment.

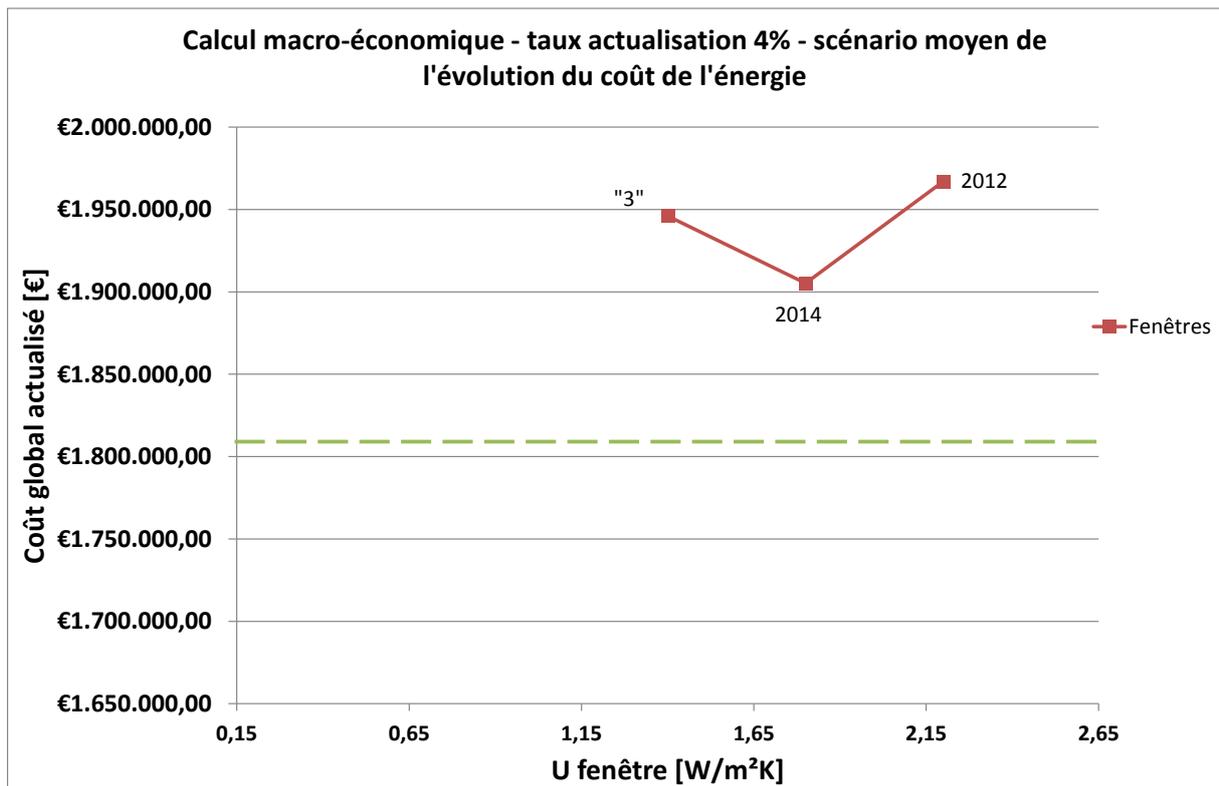


Figure 4 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

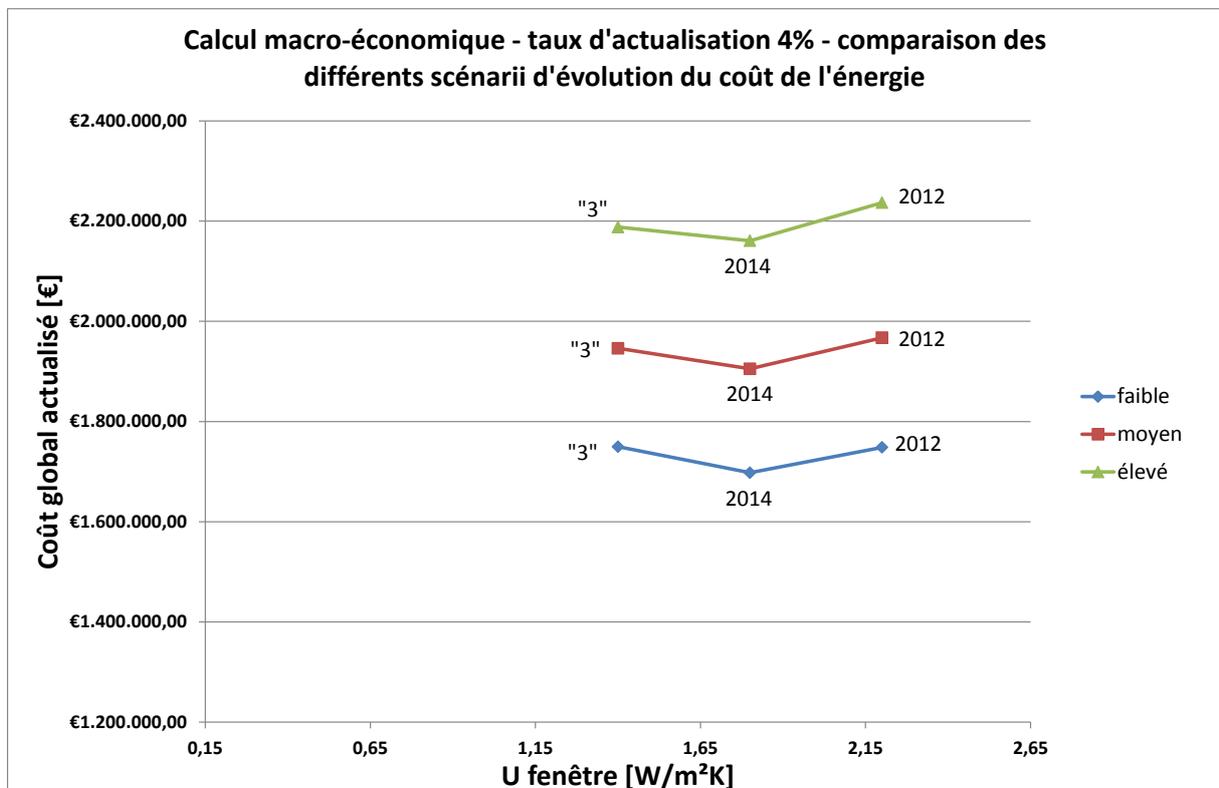


Figure 5 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4% : comparaison des différents scénarii d'évolution des prix de l'énergie

La Figure 5 permet de montrer que, lorsque l'évolution du prix de l'énergie suit une tendance élevée, le fait d'isoler plus fortement le bâtiment (2014 par rapport à 2012) permet de réduire plus fortement le coût global actualisé. En effet, l'écart relatif entre les points 2012 et 2014 est plus important dans le scénario élevé d'évolution des prix que dans les deux autres.

La Figure 6 représente l'évolution du coût global lorsqu'une nouvelle isolation de toiture est mise en œuvre. Comme c'est le cas en résidentiel, aucun optimum ne peut être déduit des données, et les trois mesures étudiées conduisent à chaque fois à un coût global actualisé plus important que celui généré par le bâtiment de référence.

Au plus l'isolant mis en œuvre est performant, au plus le coût global actualisé augmente. Cela signifie que l'isolation seule de la toiture n'est pas une mesure rentable ; l'économie d'énergie engendrée ne permet pas de compenser l'investissement initial sur la période d'évaluation de 20 ans.

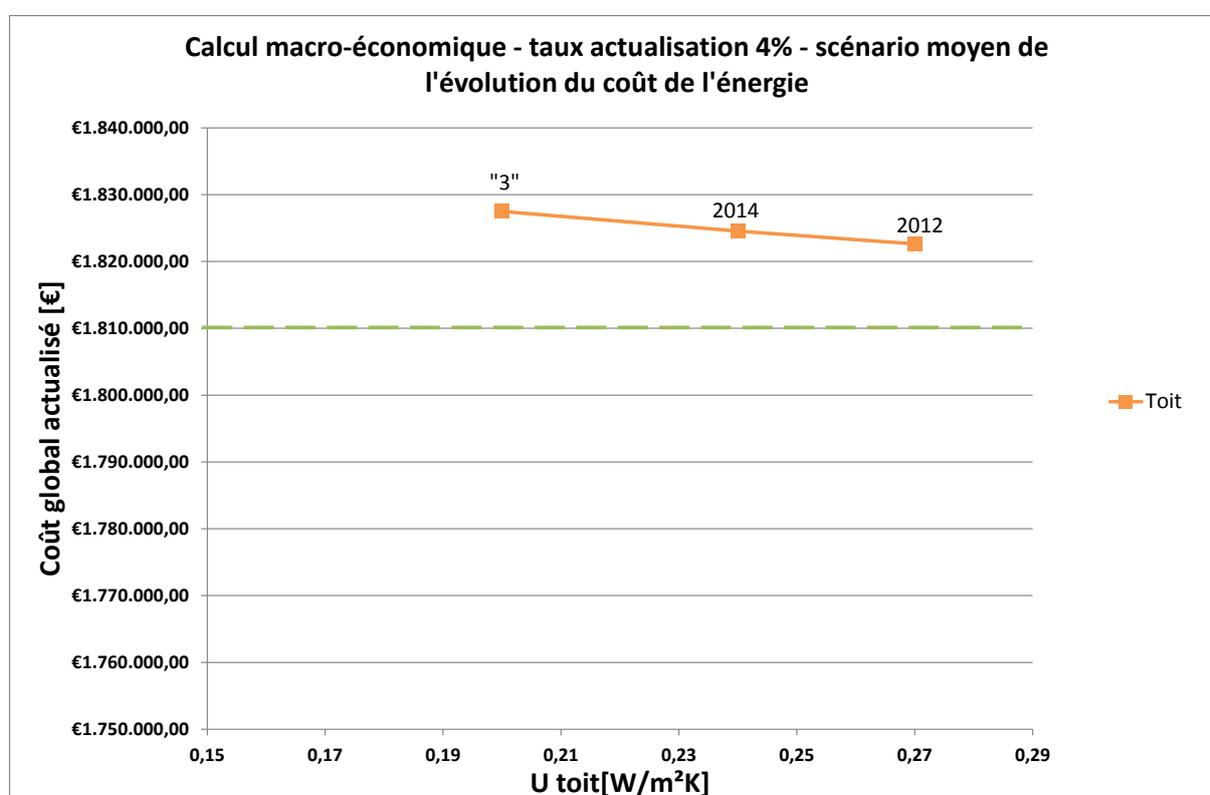


Figure 6 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen d'évolution des prix de l'énergie

La Figure 7 compare l'évolution du coût global actualisé lors de l'installation de nouvelles fenêtres uniquement avec l'évolution du coût global actualisé lors du placement de nouvelles fenêtres et d'une nouvelle isolation de la toiture.

Toutes les solutions envisagées donnent un coût global actualisé supérieur à celui du bâtiment dans son état initial.

On observe un optimum correspondant au placement de fenêtres 2014 combiné à l'isolation de la toiture 2014.

Le coût global actualisé pour la combinaison fenêtres et toiture est supérieur de plus de 25 000€ au coût global pour les fenêtres seules. Dans ce type de bâtiment fortement vitré, remplacer uniquement les fenêtres est donc une solution plus rentable que celle consistant à la combiner avec une nouvelle isolation de la toiture.

Cependant, dans les deux cas, le coût global actualisé du bâtiment de référence est inférieur à celui

obtenu lorsqu'on améliore son isolation (fenêtres seules ou fenêtres et toiture). Le coût d'investissement n'est donc pas rentabilisé sur la période d'évaluation de 20 ans.

Ni le remplacement des fenêtres seules ni sa combinaison à une isolation de la toiture ne conduit à quelque chose de rentable. Cela est dû au fait que le bâtiment de référence est déjà un peu isolé, et que le gain énergétique résultant d'une meilleure isolation est moins important que l'investissement demandé. En effet, le U moyen de ses parois est de 1,41 W/m²K.

Si l'on considère les performances 2014,

- Remplacer les fenêtres permet d'atteindre un U moyen des parois de 0,97 W/m²K, soit une amélioration de 31%
- Remplacer les fenêtres et ré-isoler la toiture permet d'atteindre un U moyen des parois de 0,82 W/m²K, soit une amélioration de 42%.

Ces actions permettent donc bien de réduire la consommation liée au chauffage (et également celle liée au refroidissement), mais pas suffisamment pour que le coût d'investissement soit compensé sur la période d'évaluation. En effet, le coût d'investissement pour les fenêtres fait partie d'un des plus importants.

Les mesures combinant remplacement des fenêtres et isolation de la toiture donnent un coût global actualisé plus élevé que le remplacement des fenêtres seules, ce qui s'explique par le fait que :

- le U moyen étant meilleur, la consommation liée au chauffage diminue plus fortement pour cette mesure : 37% pour FT2014, contre 27% pour F2014
- cependant, cette amélioration de la performance globale de l'enveloppe entraîne des besoins en froid plus importants pour la mesure FT2014 que la mesure F2014.
 - Au final, la consommation globale du bâtiment avec la mesure F2014 est donc inférieure à celle du bâtiment avec la variante FT2014.

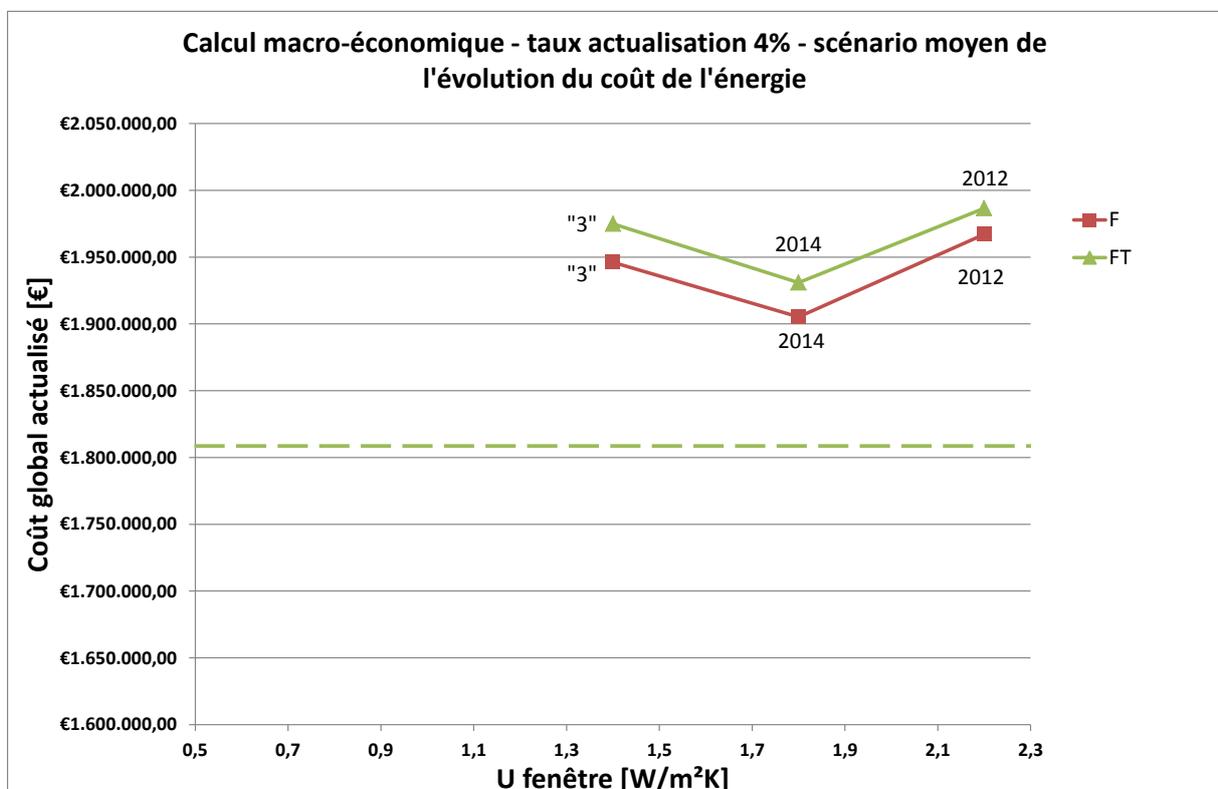


Figure 7 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen d'évolution des prix de l'énergie

La Figure 8 offre une vision globale des différentes variantes analysées ; le coût global actualisé est exprimé en fonction du U global des fenêtres.

Aucun des mesure/groupe/variante ne permet une économie en termes de coût global actualisé par rapport au bâtiment dans son état initial.

La mesure qui donne le coût global actualisé le moins élevé consiste à remplacer uniquement les fenêtres du bâtiment, en utilisant les performances F2014.

A titre informatif, même en considérant un calcul financier (taux d'actualisation 4%, scénario moyen d'évolution du coût de l'énergie) qui inclut les aides financières, aucun mesure/groupe/variante ne donne non plus un coût global actualisé inférieur à celui de la référence (cf. Figure 9).

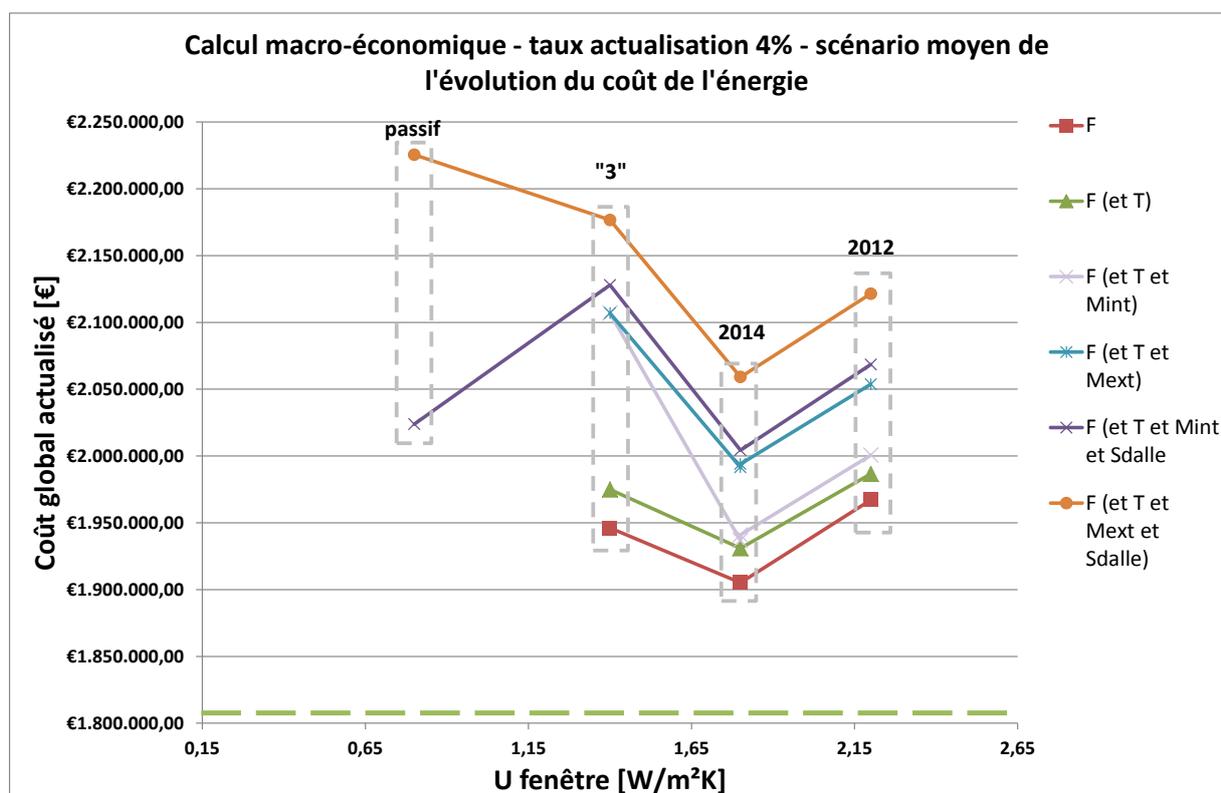


Figure 8 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen d'évolution des prix de l'énergie

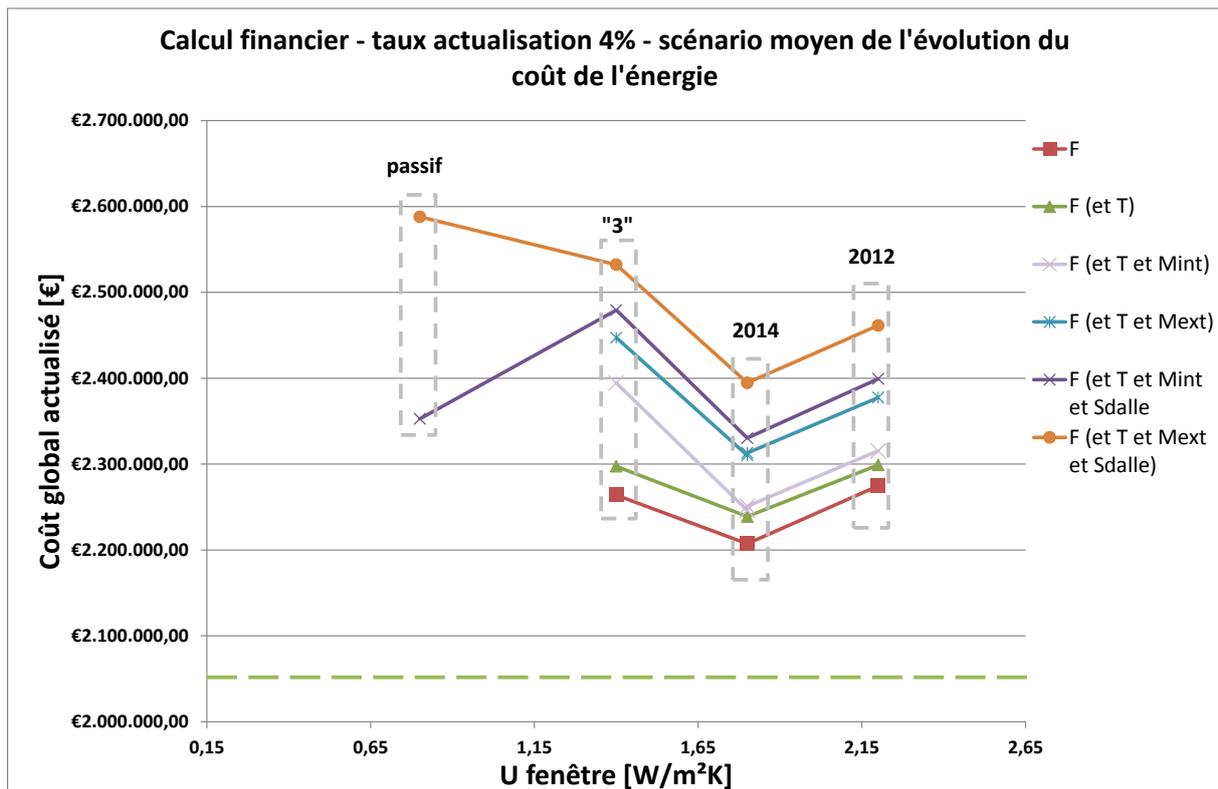


Figure 9 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen d'évolution des prix de l'énergie

Quel que soit le scénario d'évolution des prix de l'énergie, un calcul macro-économique avec taux d'actualisation de 4% ne permet pas, dans aucun des mesure/groupes/variantes considérés, d'obtenir un coût global actualisé inférieur à celui du bâtiment de référence.

Il en va de même pour le calcul financier, avec taux d'actualisation de 4% ou de 6% (voir annexe D pour le calcul financier avec taux d'actualisation de 6%).

La Figure 10 offre une vision globale des différentes variantes analysées ; le coût global actualisé est exprimé en fonction du U des toitures étudiées.

L'isolation de la toiture seule, qui n'était pas analysée dans la Figure 9, est identifiée en bleu foncé sur le graphique.

Comme c'était déjà le cas précédemment, aucun mesure/groupe/variante n'atteint un coût global actualisé inférieur à celui du bâtiment de référence. La mesure consistant à isoler la toiture seule s'approche cependant très fort du coût global actualisé du bâtiment de référence.

Les mesures permettant le coût global actualisé le moins élevé sont encore celles se rapportant aux performances thermiques pour 2014.

Cette tendance est la même pour une évolution faible et élevée du prix de l'énergie.

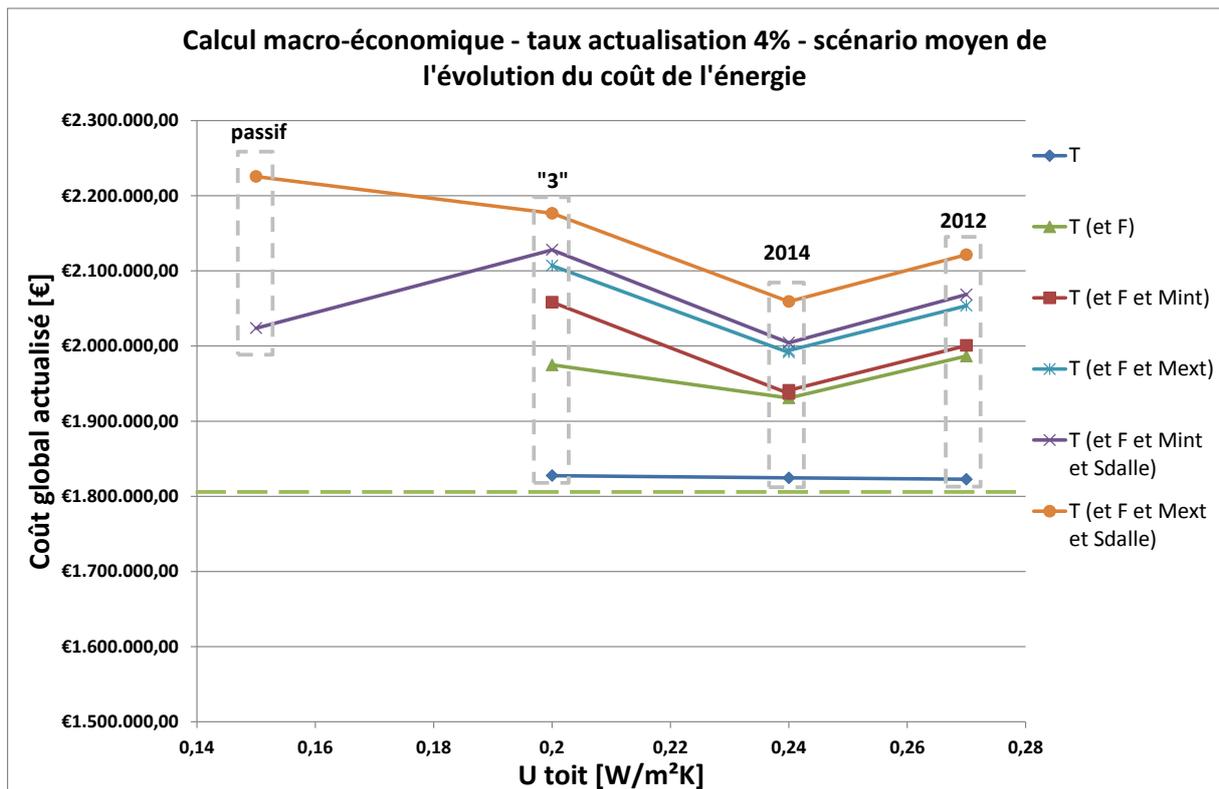


Figure 10 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen d'évolution des prix de l'énergie

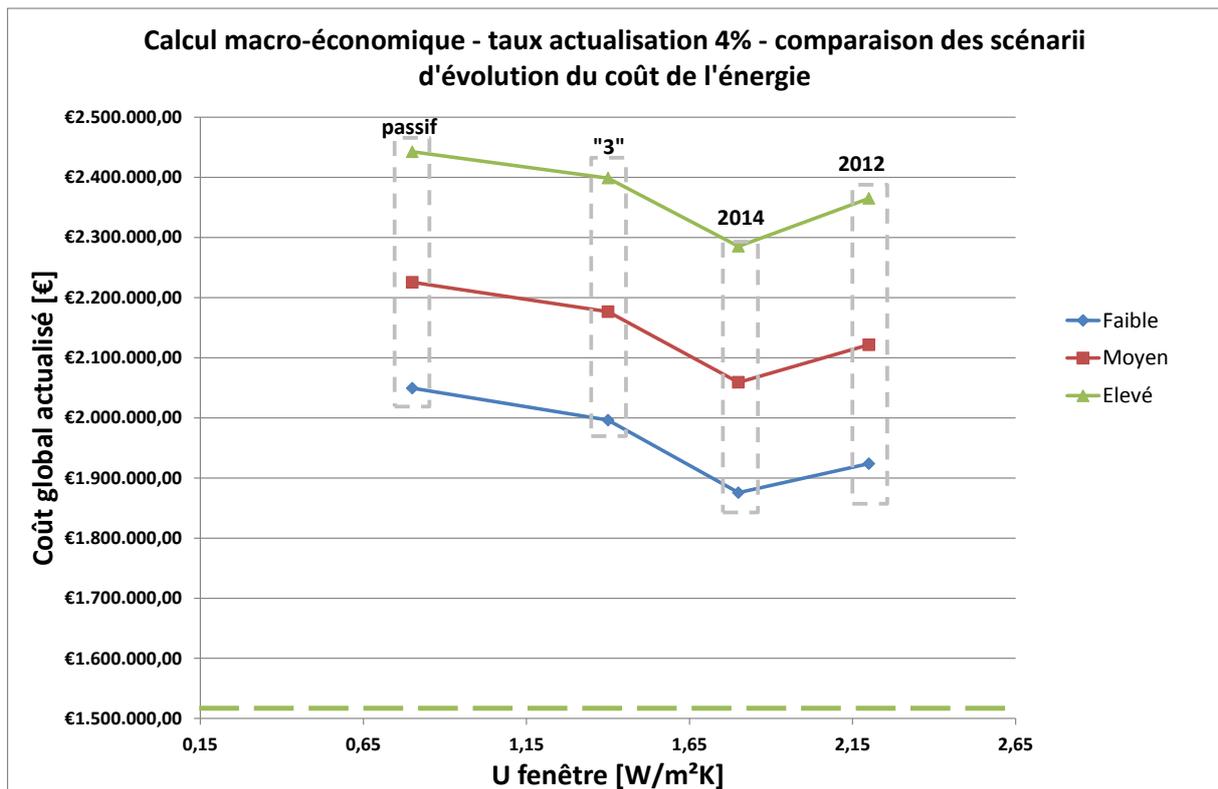


Figure 11 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, comparaison des différents scénarii d'évolution des prix de l'énergie pour les mesures combinées fenêtres/façades ext/toit/sol

Comme le montre la Figure 11, plus le coût de l'énergie est élevé, plus le coût global actualisé l'est aussi. Néanmoins, comme c'était déjà le cas en résidentiel, cette tendance diminue lorsque le niveau d'isolation augmente. En effet, les écarts relatifs entre les coûts d'une isolation 2012 sont plus importants que ceux portant sur l'isolation passive.

GBE2 – Grand bâtiment de bureaux existant, 2 façades

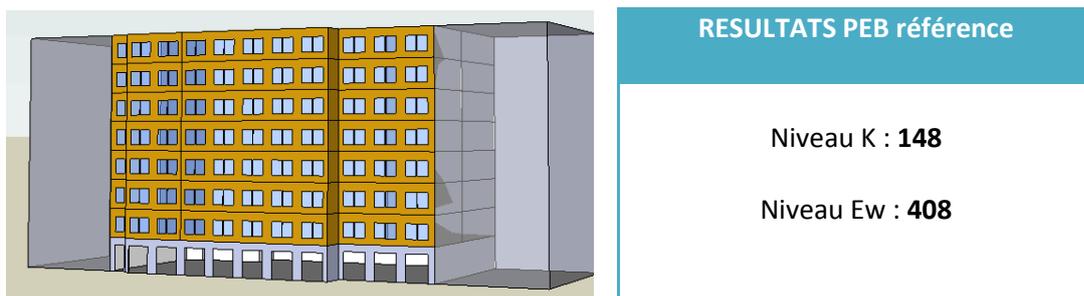


Figure 12 – Grand bâtiment de bureaux existant : niveau de performance caractéristique

Pour rappel, le grand bâtiment de bureaux est un immeuble assez compact, comportant 7 étages et mitoyen sur ses deux façades latérales. On considère qu'il est situé en agglomération, dans une zone non résidentielle où d'autres entreprises sont également présentes. La façade principale est orientée au nord-ouest. Un parking ouvert, ne faisant pas partie du volume protégé, occupe le rez-de-chaussée.

Les caractéristiques complètes sont reprises dans le rapport « bâtiments de référence », pages 13 à 15.

De façon similaire à l'analyse effectuée pour le PBE2, les résultats seront d'abord visualisés dans leur ensemble (en fonction du niveau K), puis certains éléments seuls seront analysés afin de voir leur impact sur la performance du bâtiment.

La Figure 13 permet de situer le grand bureau de référence (« base ») par rapport aux autres mesures/groupes/variantes étudiées. Comme précédemment, la référence est représentée, sur tous les graphes, par un triangle vert et une ligne pointillée verte permettant d'identifier facilement son coût global actualisé.

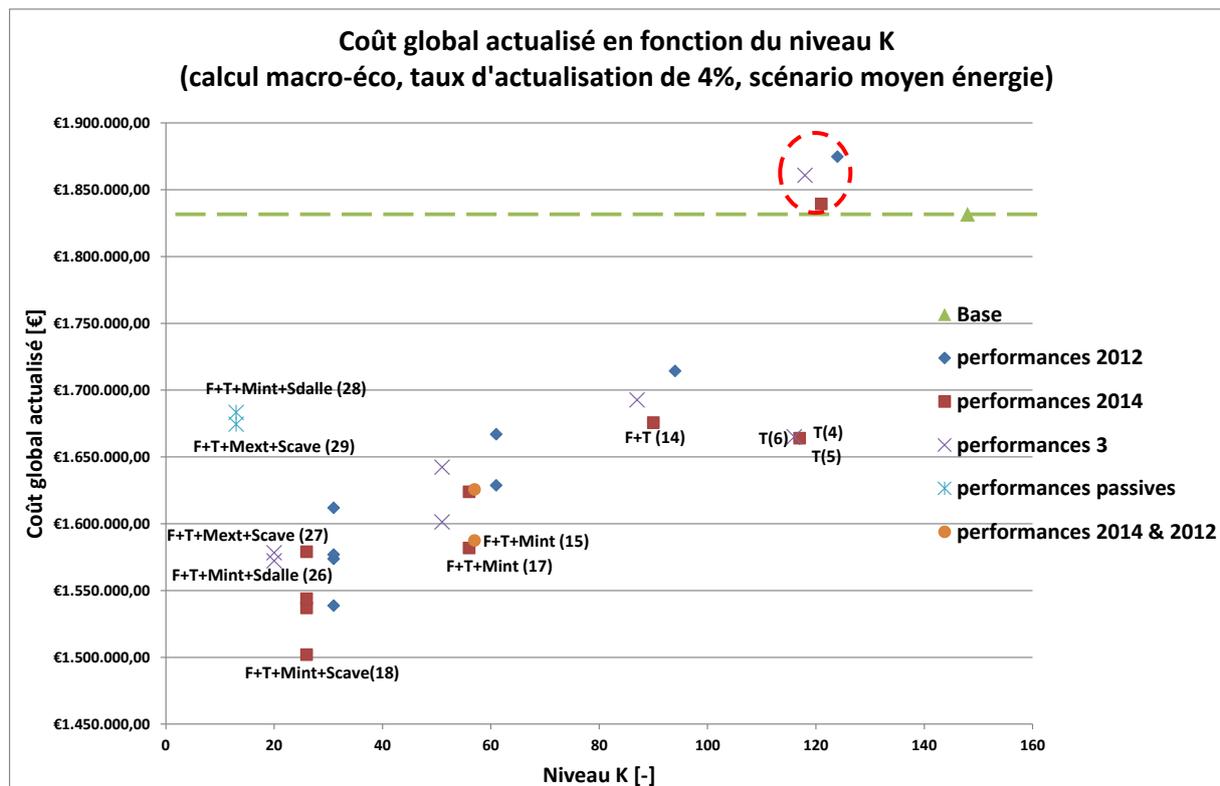


Figure 13 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

Le niveau K de l'immeuble de « base » est le plus élevé (148) et est associé à un des coûts globaux actualisés les plus importants. Seules 3 mesures/groupes/variantes présentent un coût global actualisé plus élevé. Il s'agit des mesures consistant à ne remplacer que les fenêtres, et ce quel que soit le niveau de performance énergétique appliqué.

Les résultats restent les mêmes si on considère un scénario faible d'évolution du prix de l'énergie (les 3 mêmes mesures ont un coût global actualisé plus élevé que la référence). Par contre, si l'on applique un scénario élevé d'évolution du coût de l'énergie, seule une solution n'est pas rentable : celle consistant à remplacer uniquement les fenêtres existantes par des fenêtres ayant les performances 2012 (cf. annexe E).

Par rapport au petit bâtiment de bureaux (PBE2, U moyen = 1,41 W/m²K), la quasi-totalité des variantes envisagées permet une économie en coût global actualisé sur une période d'évaluation de 20 ans. Cette différence majeure est due à la faible performance énergétique de l'enveloppe du grand bâtiment de bureau de référence (GBE2, U moyen = 2,95 W/m²K). De ce fait, la majorité des

actions d'amélioration des performances de l'enveloppe entraîne une diminution conséquente des besoins de chauffage, qui se traduit par une économie d'énergie substantielle compensant plus ou moins largement l'investissement consenti dans les différentes mesures analysées.

Plus l'augmentation annuelle du prix de l'énergie est importante, plus les mesures d'amélioration de l'enveloppe présentent une économie importante en coût global actualisé par rapport à la référence. C'est pourquoi, dans ce cas, le coût global actualisé d'une rénovation de type passif (fenêtres + toiture + façades + dalle) reste « raisonnable ». En effet, le coût global actualisé de cette isolation passive est presque équivalent au coût global actualisé de l'isolation des fenêtres/toiture/façades (par l'extérieur) selon les performances 2012.

Le paragraphe suivant analyse certains éléments de bâtiment seuls (fenêtre et toit), afin d'observer leur influence sur la performance énergétique du bâtiment.

La figure suivante montre l'évolution du coût global actualisé lorsque l'on remplace les fenêtres existantes. Comme précédemment, les différentes performances testées sont : $U_w=2,2 \text{ W/m}^2$ avec un facteur solaire de 0,63, $U_w=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ avec un facteur solaire de 0,50 et $U_w=1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ avec un facteur solaire de 0,38.

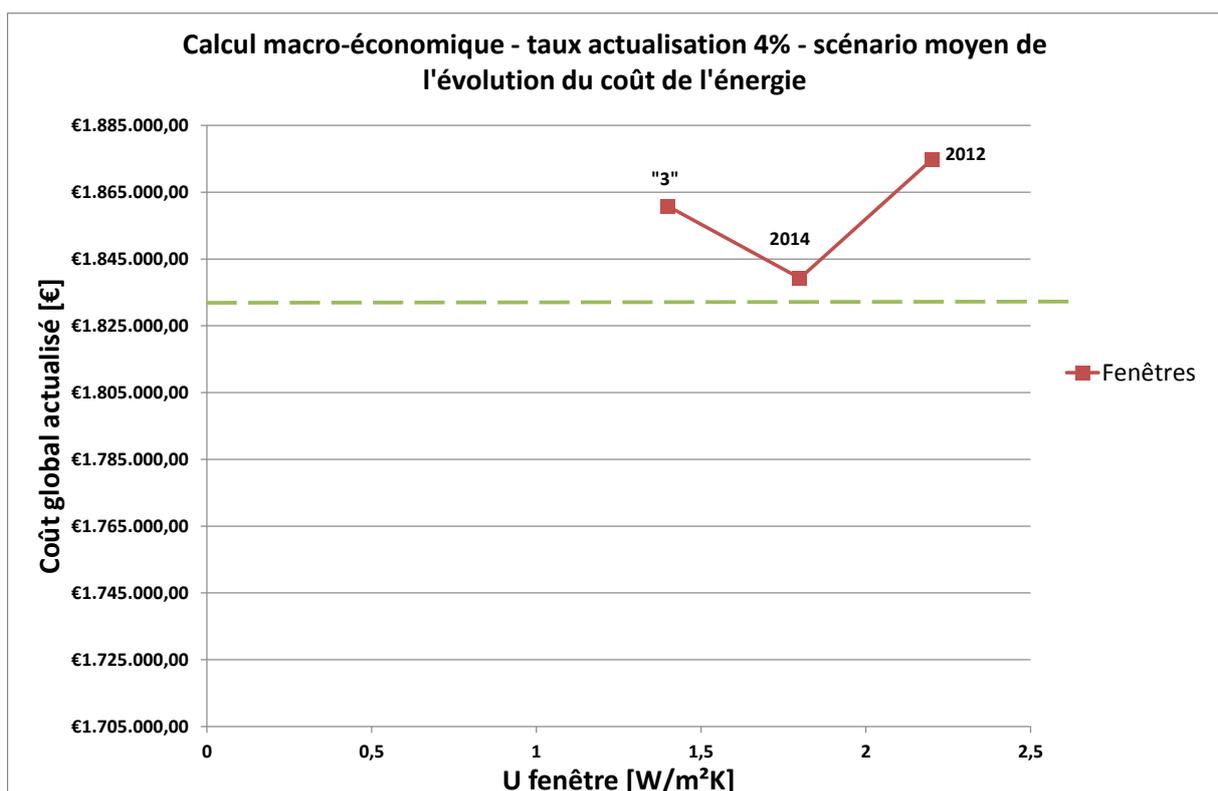


Figure 14 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

Les solutions consistant à ne remplacer que les fenêtres du bâtiment mènent à un coût global actualisé plus élevé que si l'on laisse le bâtiment en son état original, comme l'a déjà montré l'analyse globale effectuée précédemment.

Bien que les fenêtres représentent environ 16,5% de la surface totale de déperdition du bâtiment, le coût qui leur est associé est trop élevé pour que le gain en énergie ne permette de rentabiliser l'investissement initial sur la période d'évaluation de 20 ans.

A l'instar du petit bâtiment de bureaux (PBE2), la solution la moins chère dans ce cas est également

clairement identifiable : la fenêtre ayant les performances thermiques de 2014, à savoir un U global pour la fenêtre de $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Comme pour le petit bureau existant, on remarque que, bien que la fenêtre F3 ait un coefficient de déperditions thermiques plus performant que la fenêtre F2014, le coût global actualisé qui résulte de l'application de cette mesure est plus élevé que celui résultant de la mesure 2014. Cela implique que le coût plus élevé de ce type de vitrage solaire n'est pas compensé par le fait qu'il diminue les besoins en refroidissement et en chauffage du bâtiment.

La Figure 15 illustre l'évolution du coût global actualisé si l'on isole uniquement la toiture du grand bâtiment de bureaux existant, selon les niveaux de performances énergétiques respectivement exigés en 2012, en 2014 et pour un niveau d'exigence intermédiaire (3) entre 2014 et l'application du standard passif.

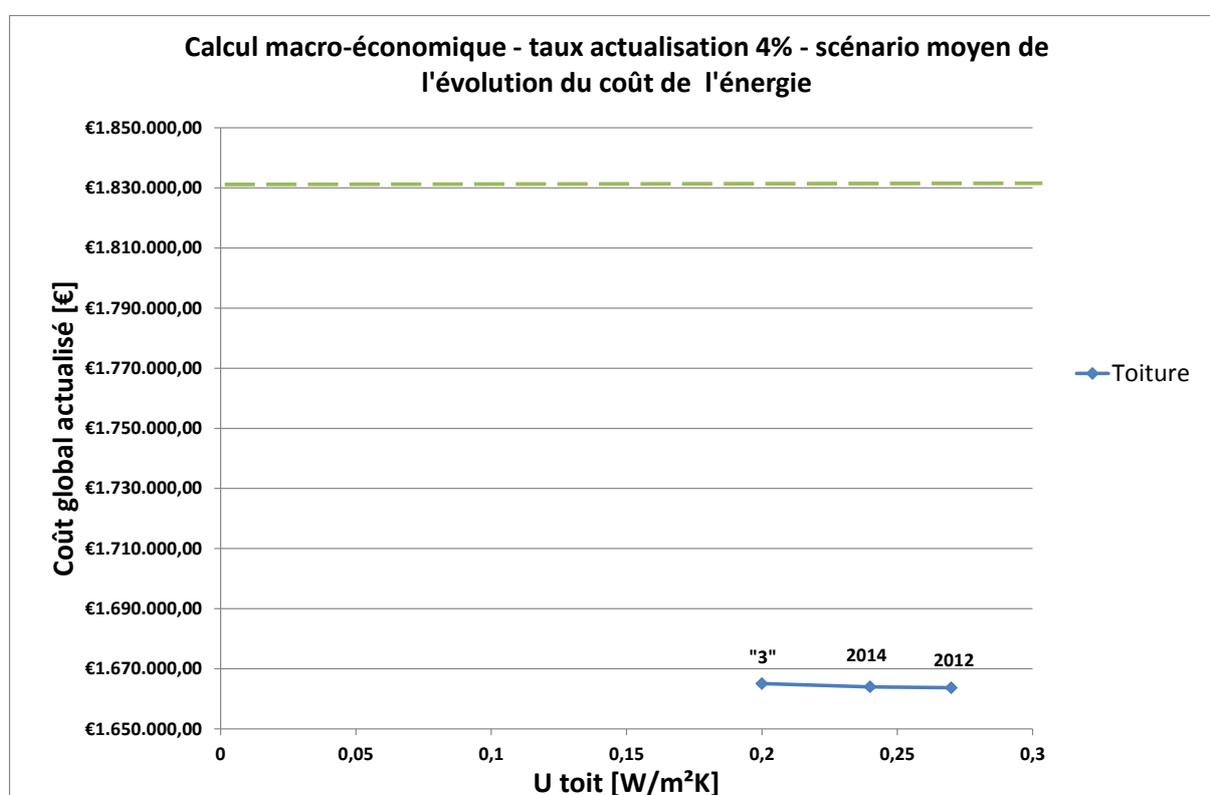


Figure 15 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

Les solutions consistant à n'isoler que la toiture sont toutes rentables, quel que soit le niveau de performances choisi. Cela est dû au fait:

- que la toiture représente environ 22 % de la surface totale de déperditions du bâtiment
- qu'elle est, dans le bâtiment de référence, très mal isolée ($U=3,04 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- que le coût pour l'isoler est relativement faible (si on le compare par exemple au remplacement des fenêtres).

L'investissement de départ est donc facilement rentabilisé sur la période d'évaluation de 20 ans.

Si l'on effectue à présent un zoom sur les 3 mesures d'isolation de toiture, on obtient le graphique suivant.

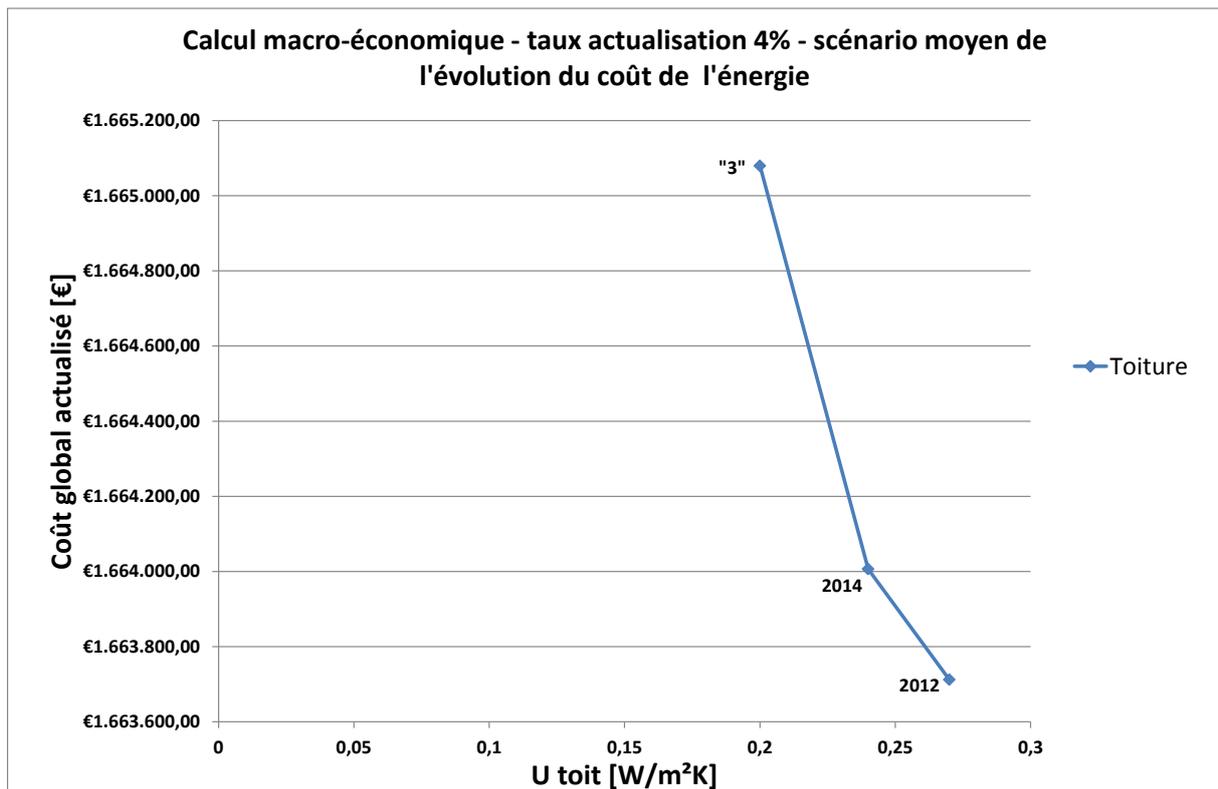


Figure 16 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

La solution consistant à isoler la toiture avec les performances de 2012 est indéniablement la plus rentable économiquement parlant. Cependant, la différence entre les trois variantes n'est pas significative, comme le montre le tableau suivant.

Variante	Coût global actualisé [€]	Economie par rapport à la référence [€]
T2012	1663712	167876
T2014	1664006	167582
T3	1665080	166508

Tableau 1 – CGA et économie par rapport au bâtiment de référence des mesures consistant à isoler uniquement la toiture (calcul macro-éco, taux actualisation 4%, scénario moyen énergie)

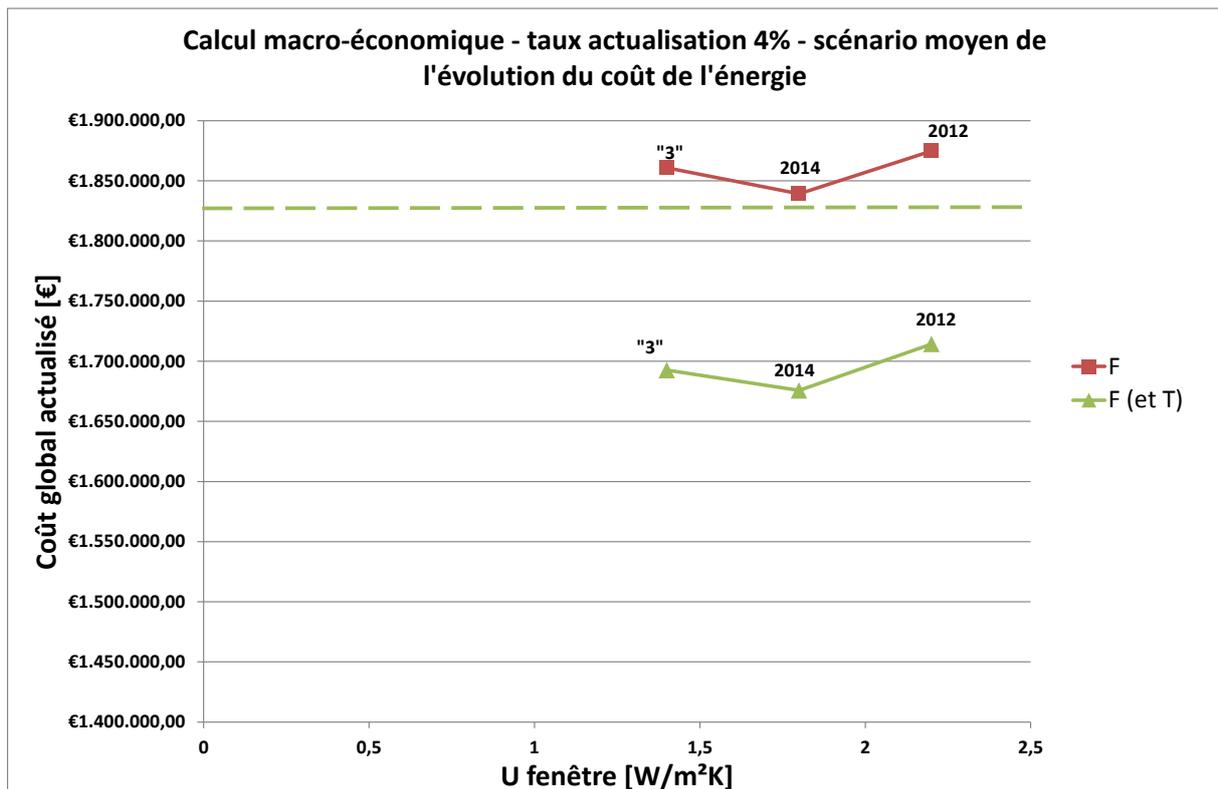


Figure 17 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

La Figure 17 illustre l'évolution du coût global actualisé lorsqu'on remplace uniquement les fenêtres et lorsqu'on isole la toiture en même temps. Un optimum clairement identifiable correspond à la combinaison de l'isolation des fenêtres et de la toiture, selon les exigences de performances 2014. Cette combinaison permet une économie non négligeable en termes de coût global actualisé par rapport à au CGA associé au bâtiment de référence : 155 881€, sur la période d'évaluation de 20 ans.

Pour ce type de bâtiment, une action combinée sur les fenêtres et sur la toiture du bâtiment affiche un CGA inférieur à la référence, sur la période d'évaluation, et ce pour toutes les variantes envisagées. Cela est dû à l'influence de la toiture.

La Figure 18 offre une vision globale des différents scénarios analysés ; le coût global actualisé est exprimé en fonction du U global des fenêtres étudiées.

Dans le cadre du calcul macro-économique avec taux d'actualisation de 4% et un scénario moyen d'évolution des prix de l'énergie, l'optimum qui se dégage correspond à l'isolation combinée de la toiture, des façades (par l'intérieur), de la dalle (via le plafond du parking) et au remplacement des fenêtres, selon les exigences de performances thermiques définies pour 2014.

Cette combinaison permet une économie de plus de 329 700 euros (18%) sur 20 ans par rapport à la référence.

Cependant, il faut remarquer que l'isolation des parois par l'intérieur, moins chère qu'une isolation par l'extérieure, présente plus de risques de conduire à des problèmes de condensation et à l'apparition de moisissures, sans parler de la moins bonne inertie thermique du bâtiment. Une attention particulière doit donc être accordée à ces problèmes constructifs avant toute mesure d'isolation par l'intérieur.

Dans le cas où une isolation par l'intérieur n'est pas possible (manque de place, ponts thermiques trop importants, risques de condensation trop élevés...), la mesure/groupe/variante utilisant une isolation par l'extérieur et présentant le coût global actualisé le moins élevé consiste également à suivre les performances 2014, et à ré-isoler entièrement le bâtiment. Cette configuration permet une économie de plus de 287 600 euros (16%) sur 20 ans par rapport à la référence.

Il est intéressant de constater que l'isolation complète selon les critères passifs possède un coût global actualisé inférieur à celui des mesures consistant à ne ré-isoler conjointement que les fenêtres et toiture.

Comme vu précédemment, le remplacement des fenêtres seules conduit à un coût global actualisé plus élevé que le bâtiment de référence dans son état initial.

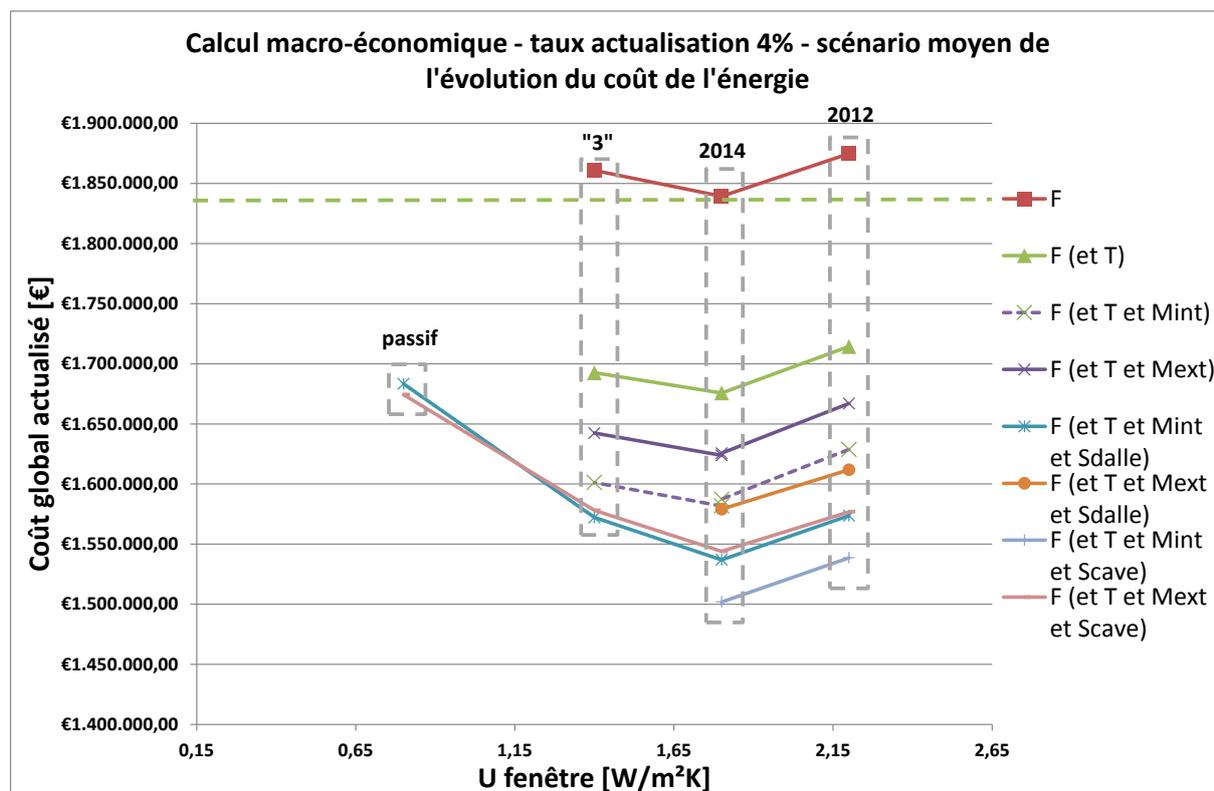


Figure 18 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

Cette analyse reste valable pour un calcul macro-économique avec un taux d'actualisation de 4% mais un scénario faible d'évolution des prix de l'énergie (cf. annexe F). En revanche, pour un scénario élevé d'évolution des prix de l'énergie, les mesures consistant à remplacer uniquement les fenêtres, selon les performances thermiques 2014 et « 3 », permettent d'obtenir un coût global actualisé inférieur à celui du bâtiment de référence (voir Figure 19).

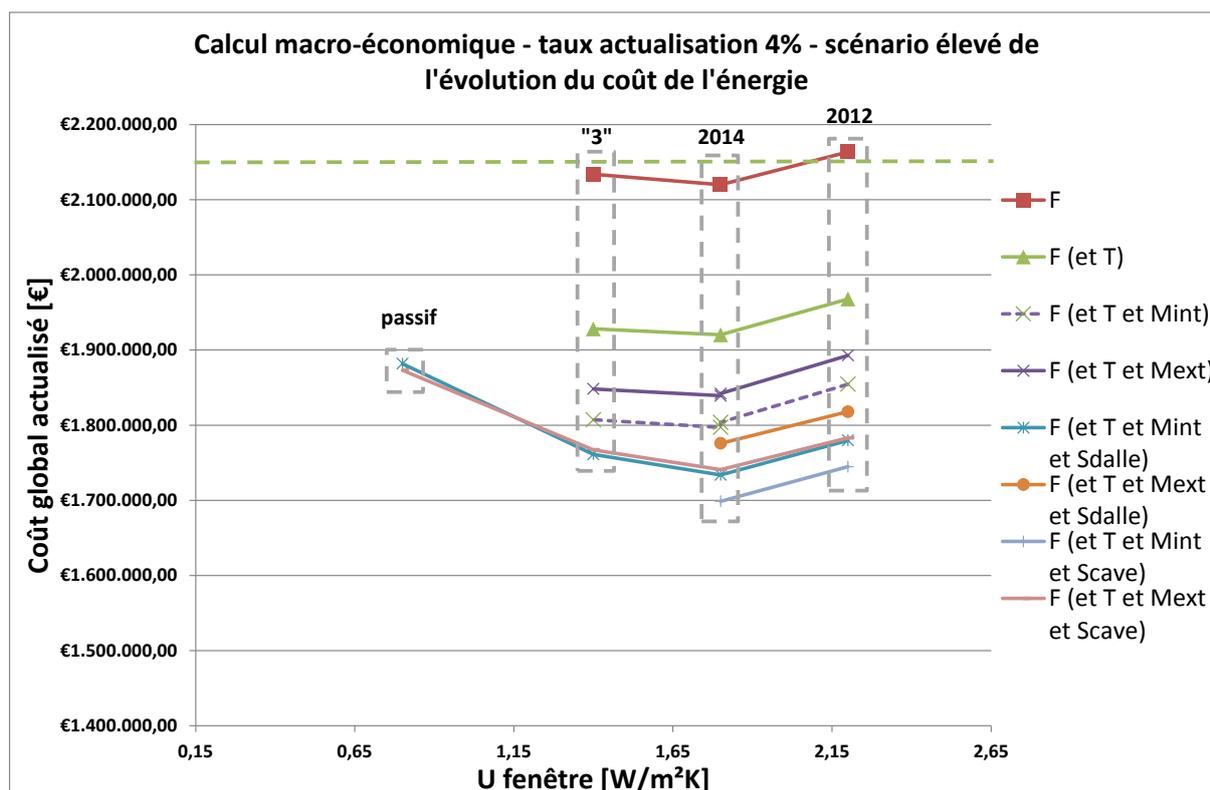


Figure 19 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie

La Figure 20 offre également une vision globale des différents scénarios analysés, mais le coût global actualisé y est exprimé en fonction des U de toitures étudiées.

L'isolation de la toiture seule, qui n'apparaissait pas à la Figure 19, fait clairement partie des mesures rentables dans le cas du GBE2.

Comme l'avait déjà montré le graphique précédent, la variante consistant à isoler toiture, les façades, la dalle (via le plafond du parking) et à utiliser des fenêtres affichant des performances 2014 constitue l'optimum parmi toutes les mesures analysées. La même remarque que précédemment peut également être mentionnée au sujet des risques liés à l'isolation par l'intérieur.

Bien que ne permettant pas l'économie la plus élevée, l'isolation de la toiture seule, avec les performances 2012, 2014 et « 3 » représente une mesure très intéressante. En effet, elle peut être effectuée rapidement, sans affecter le fonctionnement du bâtiment, et rapporte quand même plus de 167 000€ sur la période d'évaluation de 20 ans, et ce pour un coût d'investissement relativement faible comparé aux autres mesures.

Les deux groupes de mesures suivant sont également intéressantes pour le GBE2, et donnent des résultats très proches en matière de coût global actualisé :

- Changement des fenêtres, isolation de la toiture, isolation de la façade par l'intérieur et de la dalle via le plafond du parking, le tout selon les performances thermiques 2012, 2014 et « 3 ».
- Changement des fenêtres, isolation de la toiture, isolation de la façade par l'extérieur et de la dalle via le plafond du parking, le tout selon les performances thermiques 2012, 2014 et « 3 ».

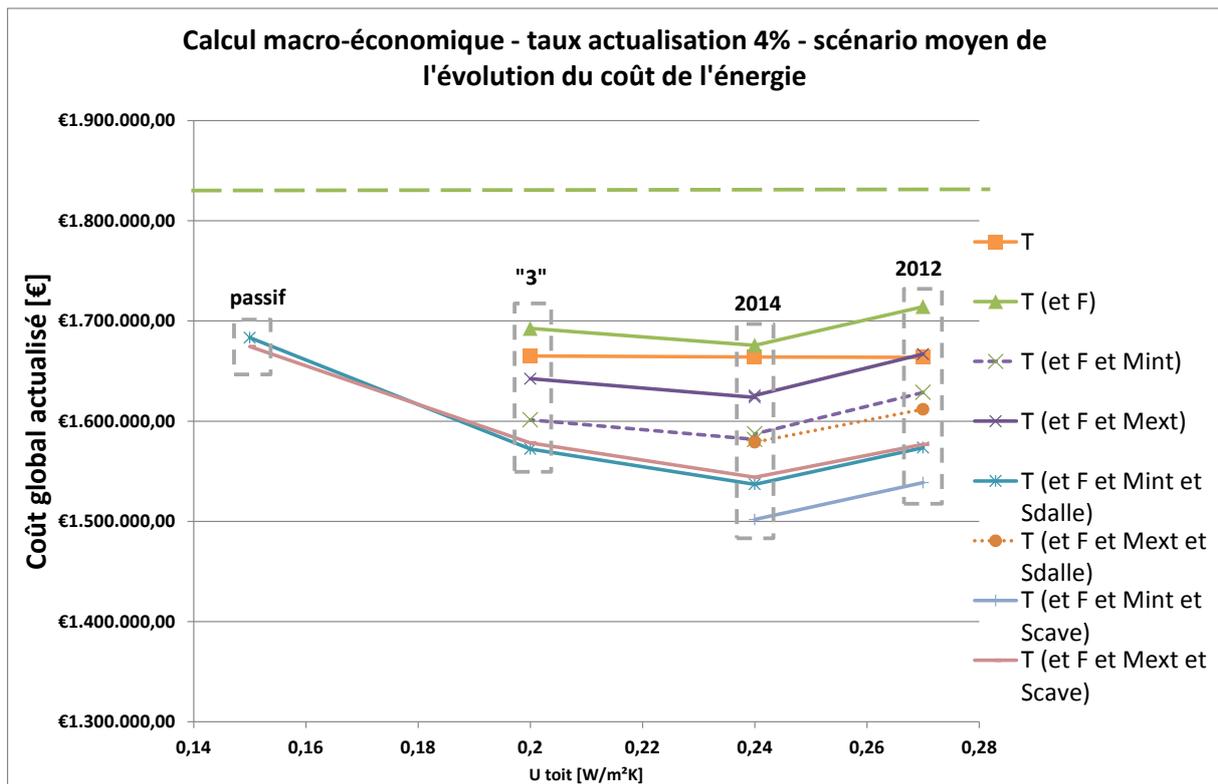


Figure 20 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

Pour un calcul macro-économique avec taux d'actualisation de 4% mais un scénario faible d'évolution du coût de l'énergie, les conclusions restent globalement les mêmes, si ce n'est que les mesures consistant à n'isoler que la toiture deviennent encore plus intéressantes.

En effet, la courbe orange sur la Figure 21 permet plus d'économies que l'amélioration combinée de l'isolation des fenêtres et toiture (ce qui était déjà le cas pour un scénario moyen d'évolution des prix) mais elle devient également plus intéressante que l'isolation combinée fenêtres/toit/façade (par l'extérieur).

Pour un calcul macro-économique avec taux d'actualisation de 4% mais un scénario élevé d'évolution du coût de l'énergie, les conclusions restent globalement les mêmes, si ce n'est que cette fois-ci, l'isolation de la toiture seule est la mesure qui est la moins intéressante économiquement parlant. Cependant, elle permet déjà une économie de plus de 200 000 euros sur la période d'évaluation considérée (voir Figure 22).

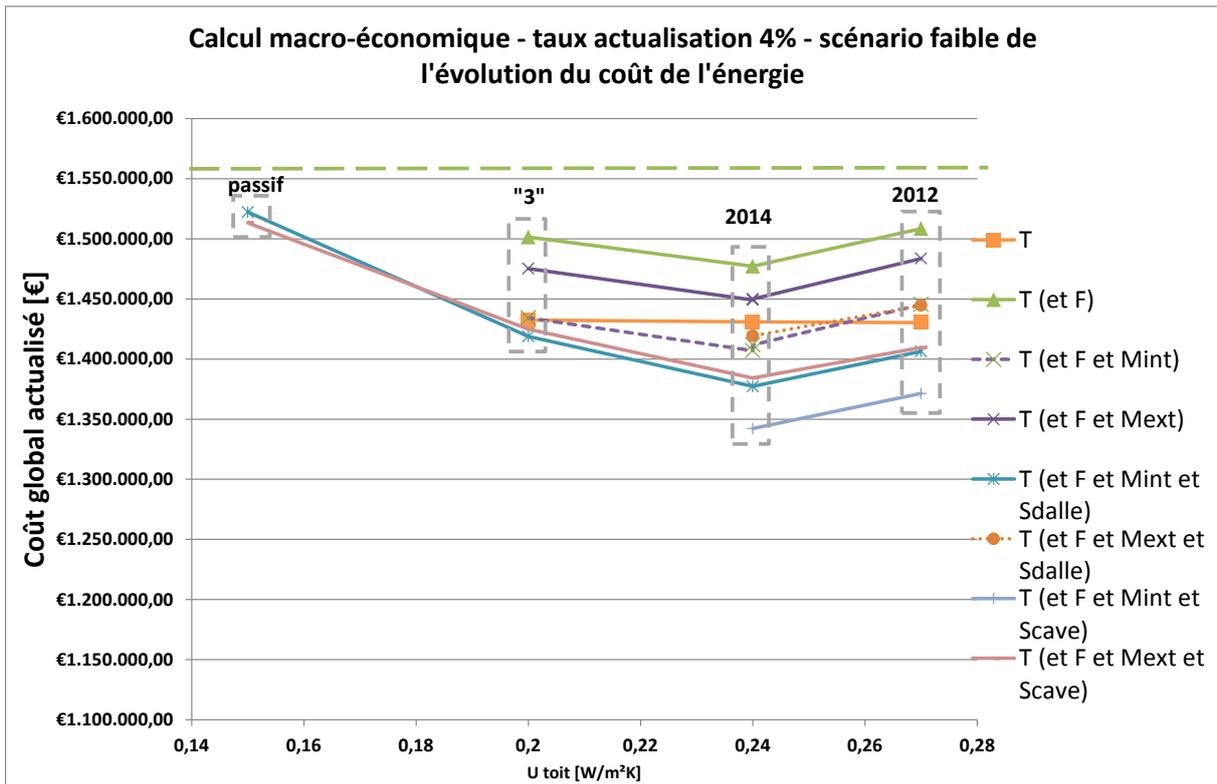


Figure 21 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie

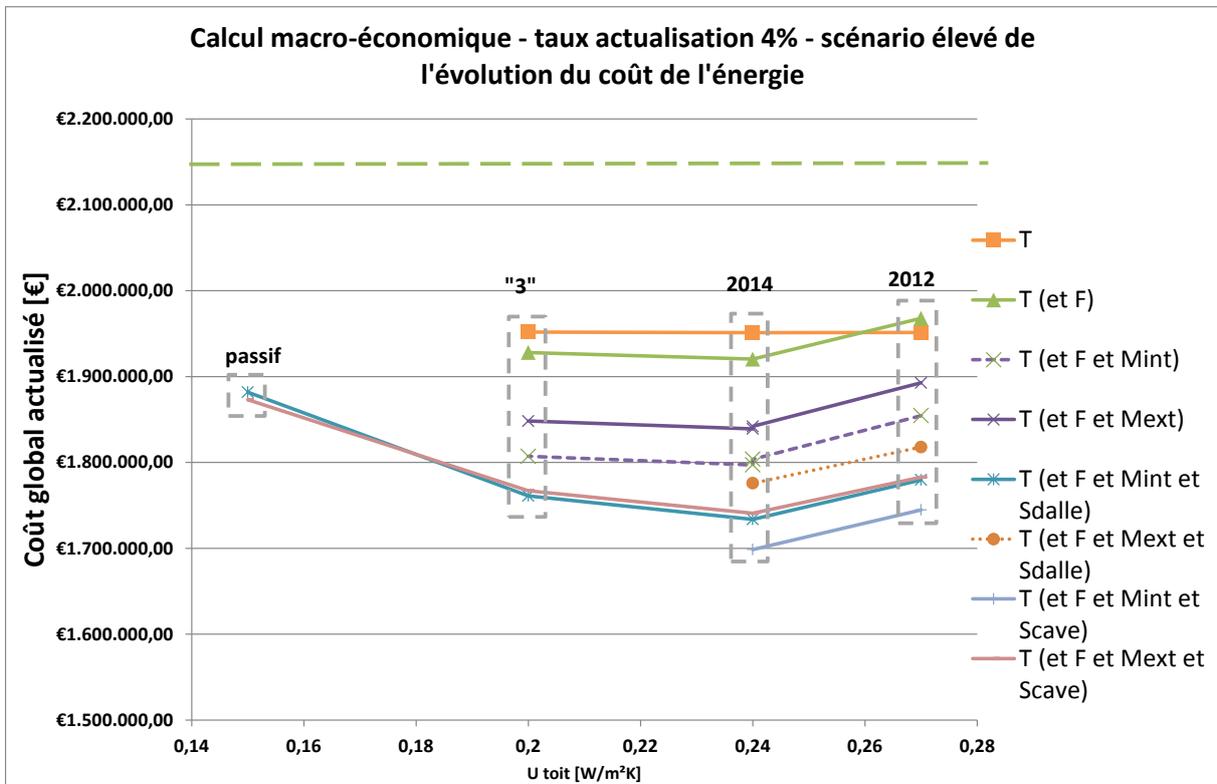


Figure 22 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie

Le graphique suivant compare l'impact des différents scénarii d'évolution du coût de l'énergie, pour un calcul macro-économique avec taux d'actualisation de 4%, et pour une isolation complète du bâtiment (fenêtres/toiture/façades (par l'extérieur)/ plafond de la dalle de sol).

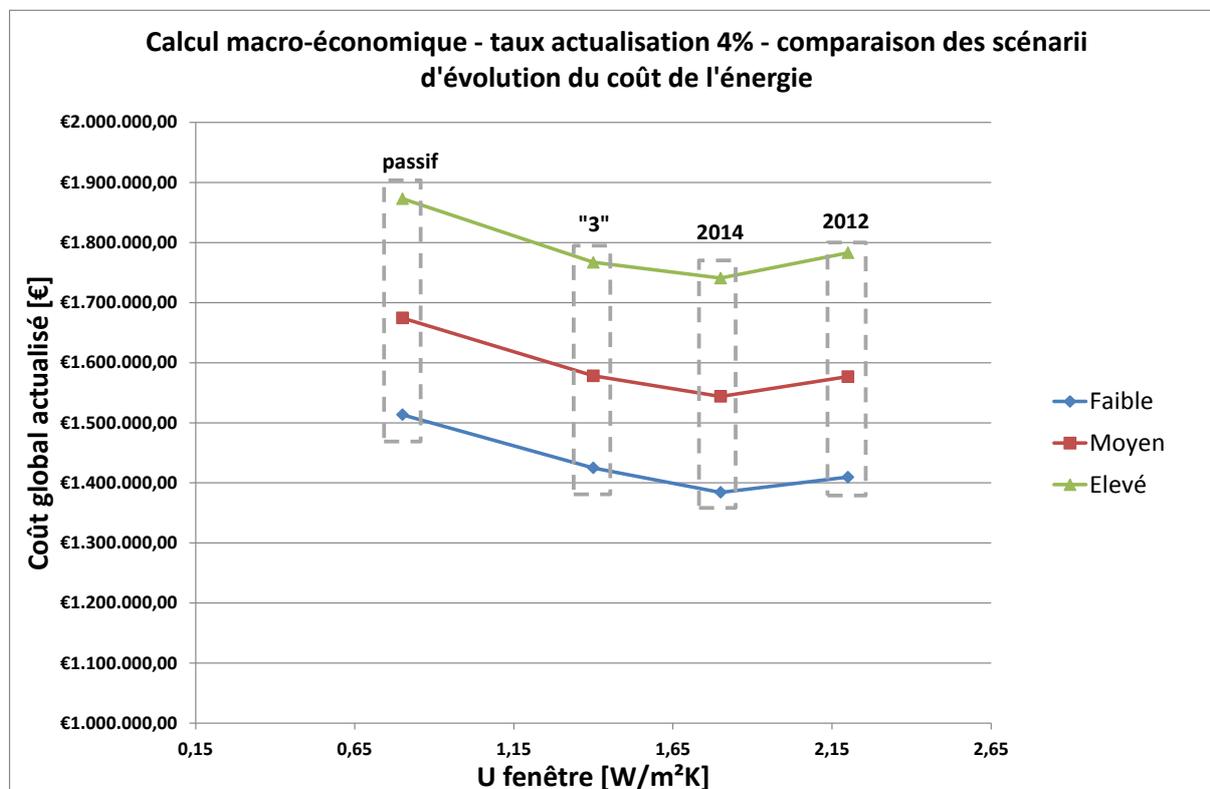


Figure 23 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, comparaison des scénarii d'évolution du prix de l'énergie

Plus le coût de l'énergie est élevé, plus le coût global l'est aussi. Comme en résidentiel, cette différence diminue lorsque le niveau d'isolation augmente. Cependant, cette tendance n'est pas aussi visible que pour le secteur résidentiel.

Les annexes G, H et I reprennent les résultats globaux pour un calcul macro-économique avec taux d'actualisation de 3% et les calculs financiers avec taux d'actualisation de 4 et 6%.

Cette partie de rapport reprenait les résultats obtenus individuellement pour les deux types de bureaux et services existants définis dans cette étude. Dans la suite du rapport, une pondération des résultats s'y rapportant sera effectuée dans un graphique commun de synthèse, qui tiendra compte des proportions de bâtiments existants PBE2 et GBE2. Les « guidelines » précisent en effet qu'il faut présenter les résultats en fonction de leur représentativité du parc immobilier wallon des bâtiments existants.

3. Bâtiment de bureaux neuf



RESULTATS PEB référence

Niveau K : **44**

Niveau Ew : **78**

Figure 24 – Nouvel immeuble de bureaux : rappel des caractéristiques majeures

Les exigences maximales en matière de bâtiments résidentiels ayant pour affectation Bureaux et Services sont actuellement K45 et Ew80. A la différence du secteur résidentiel, aucune exigence portant sur le Espec n'est appliquée au secteur tertiaire.

Le coût global actualisé comprend le coût de l'enveloppe du bâtiment, le coût des systèmes installés (production, stockage, distribution et émission) ainsi que le coût de la consommation énergétique du bâtiment pendant 20 ans. Le coût complet de chaque paroi de déperditions reprend sa structure, l'isolation, la finition extérieure et la finition intérieure.

Les cloisons et menuiseries intérieures, les sanitaires et la plomberie, l'électricité, ... ne sont pas compris dans ce coût global.

Pour les bâtiments neufs, il s'agit de justifier la pertinence des exigences sur le Ew. Si l'optimum diffère de 15% par rapport aux impositions actuelles, il faudra justifier cet écart par l'évolution programmée des exigences pour tendre vers une exigence « coût optimum » ou par une politique de modification éventuelle des systèmes de primes.

Remarque importante

Lors de l'analyse des résultats, il est apparu que les mesures/groupes/variantes dans lesquels aucune machine de froid n'était placée étaient très souvent des optima économiques. Cependant, étant donné que le logiciel PEB ne calcule pas d'indicateur de surchauffe pour le secteur tertiaire, il était impossible de vérifier si le confort estival était assuré ou non dans ces cas de façon directe.

L'étude « Analyse technico-économique de la rentabilité des investissements dans des mesures d'économie d'énergie – Secteur tertiaire », réalisé pour l'IBGE par 3E et la KU Leuven en 2005, définit un seuil en termes de besoin de froid qui permet d'évaluer si le confort en énergie dans un bâtiment sera assuré ou non. Lorsque les besoins nets en refroidissement sont inférieurs à 7,8 kWh/m³.an, le confort estival est considéré comme correct dans le bâtiment.

Cet indicateur a donc été calculé pour toutes les mesures dans lesquelles aucune machine de froid n'était prévue. Dans tous les cas, les valeurs obtenues étaient bien au-dessus de 7,8 kWh/m³.an (de 19,7 à 29,6 kWh/m³.an). Les calculs détaillés sont fournis en annexe J. Ces mesures sont donc certes très intéressantes d'un point de vue économique, mais ne permettent manifestement pas d'assurer le confort des occupants en hiver.

Sur base de cette observation, 11 simulations supplémentaires ont été effectuées, afin d'obtenir des cas où le bâtiment n'est pas équipé de machine de production de froid mais assure quand même un confort estival correct aux occupants.

Ces simulations reprennent les valeurs de performances thermiques 2014 pour les parois opaques couplées au vitrage solaire F3.

De cette façon, on obtient un indicateur de besoin de froid variant entre 3,6 et 4,9 kWh/m³.an, ce qui est bien en-dessous de la valeur définie dans l'étude précitée. Le confort estival devrait donc être assuré dans ces simulations. Le tableau ci-dessous reprend les caractéristiques de ces 11 simulations supplémentaires.

Mesures/groupes/variantes supplémentaires													BNE froid [MJ]	BNE froid [kWh/m ³ .an]
1 NoF	O2014	F3	T2014	S2014	IM	E3	Prés	CC	N.A.	RC	NoF	/	96448,85	4,87
6 NoF	O2014	F3	T2014	S2014	IM	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	/	87716,05	4,43
11 NoF	O2014	F3	T2014	S2014	EM	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	/	76251,67	3,85
17 NoF	O2014	F3	T2014	S2014	EM	E3	Dim	PAE	N.A.	RC	NoF	/	76251,67	3,85
22 NoF	O2014	F3	T2014	S2014	EM	E3	Dim	PSE	N.A.	RC	NoF	/	76251,67	3,85
27 NoF	O2014	F3	T2014	S2014	EM	E3	Dim	COG	CC	RC	NoF	/	76251,67	3,85
32 NoF	O2014	F3	T2014	S2014	EM	E3	Dim	BIOM	N.A.	RC	NoF	/	76251,67	3,85
37 NoF	O2014	F3	T2014	S2014	EM	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV30	76251,67	3,85
42 NoF	O2014	F3	T2014	S2014	EM	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV50	76251,67	3,85
47 NoF	O2014	F3	T2014	S2014	EA	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV30	72345,08	3,65
52 NoF	O2014	F3	T2014	S2014	EA	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV50	72355,08	3,65

Tableau 2 – Mesures/groupes/variantes supplémentaires pour assurer le confort estival en l'absence de machine de froid

NB – Nouveau bâtiment de bureaux – 4 façades

Les résultats sont analysés de manière globale ; toutes les simulations sont regroupées sur un même graphique, chaque point correspondant à un encodage PEB. Chaque graphe représente le coût global actualisé en fonction du niveau Ew ou du niveau K.

Les résultats sont classés en fonction de leurs performances énergétiques : caractéristiques thermiques 2012, 2014, « 3 » et passives.

La simulation de base, à savoir le bâtiment avec les performances actuelles rappelées ci-dessus (K44, Ew78), est identifiée dans chaque graphique, de manière à pouvoir comparer les différents groupes/mesures/variantes par rapport à celle-ci.

Sur base de la remarque effectuée au paragraphe précédent, les simulations pour lesquelles le confort estival est considéré comme non assuré ne sont pas prises en compte lorsqu'elles représentent un optimum, et ce afin de ne pas fausser la comparaison.

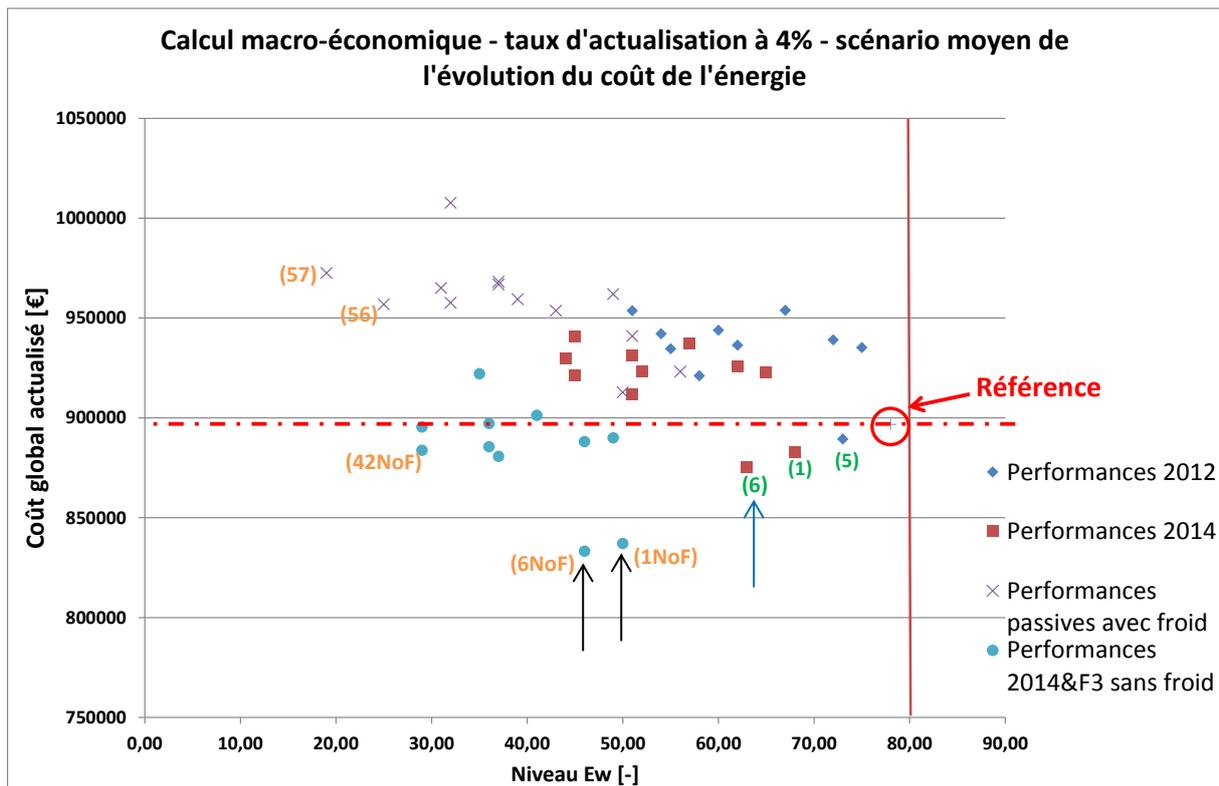


Figure 25 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : évolution du CGA en fonction du Ew, scénario moyen d'évolution du coût de l'énergie

Si on l'analyse globalement, la Figure 25 permet les constatations suivantes :

- Tous les groupes/mesures/variantes étudiés permettent de satisfaire à l'exigence actuelle en matière de niveau Ew.
- Les mesures/groupe/variantes présentant le coût global actualisé le plus élevé correspondent principalement à celles passives avec installation de froid. Toutes les mesures ayant recours au passif donnent un coût global actualisé plus élevé que la référence ; cela signifie que l'isolation de l'enveloppe selon les recommandations passives est un investissement difficile à rentabiliser sur une période d'analyse de 20 ans.
- Les coûts globaux actualisés les plus intéressants sont ceux de la variante utilisant les performances 2014 pour les parois opaques, couplées à un vitrage solaire (type F3).

La variante 6 NoF représente l'optimum économique. Celle-ci correspond à une isolation des parois opaques selon les exigences 2014, avec des vitrages solaires (F3). Au niveau des systèmes, cette mesure correspond à la mise en œuvre d'une chaudière à condensation au gaz, avec un récupérateur de chaleur, du diming et des protections solaires intérieures manuelles. Le Ew atteint est de 50 et le niveau K est de 33 pour un coût global actualisé de 833 196€.

La mesure 1 NoF est également très intéressante, et ne diffère de la 6 NoF que par le diming, qui y est remplacé par une simple détection de présence. Dans ce cas, le Ew atteint est de 46 et le niveau K est de 33 pour un coût global actualisé de 837 003€.

Ces deux optima correspondent à des scénarii où aucune machine de froid n'est installée. Dans le cas où une machine de froid est installée, l'optimum devient la variante 6 : performances d'enveloppe 2014, protections solaires intérieures manuelles, diming, chaudière à condensation, récupération de chaleur et machine à compression de froid.

Les mesures/groupes/variantes qui sont rentables et qui assurent le confort par rapport à la référence dans les 3 scénarii d'évolution, pour un calcul macro-économique et pour un taux d'actualisation de 4% sont les suivants :

N° de variante	Identification de la mesure/groupe/variante	Ew	K	Macro-économique – coût faible [€]	Macro-économique – coût moyen [€]	Macro-économique – coût élevé [€]
6 NoF	F3 TOS2014 IM E3 Dim CC RC NoF	46	33	814 803	833 196	855 861
1 NoF	F3 TOS2014 IM E3 Prés CC RC NoF	50	33	816 857	837 003	861 829
6	FTOS2014 IM E3 Dim CC RC CF	63	37	847 604	875 436	909 738
1	FTOS2014 IM E3 Prés CC RC CF	68	37	852 661	882 734	919 794
5	FTOS2012 IM E4 Dim CC RC CF	73	44	857 601	889 358	928 816

Tableau 3 – Mesures/groupes/variantes rentables pour les trois scénarii d'évolution du prix de l'énergie, calcul macro-économique, actualisation 4%

Le numéro, repris dans la première colonne du Tableau 3, correspond au numéro de la mesure-groupe-variante étudiée. La description de l'habitation correspondant à ce numéro se trouve dans le rapport sur les bâtiments de référence, en pages 19 à 23.

Pour une évolution faible du prix de l'énergie, seules les solutions du Tableau 3 s'avèrent rentables par rapport à la situation de référence.

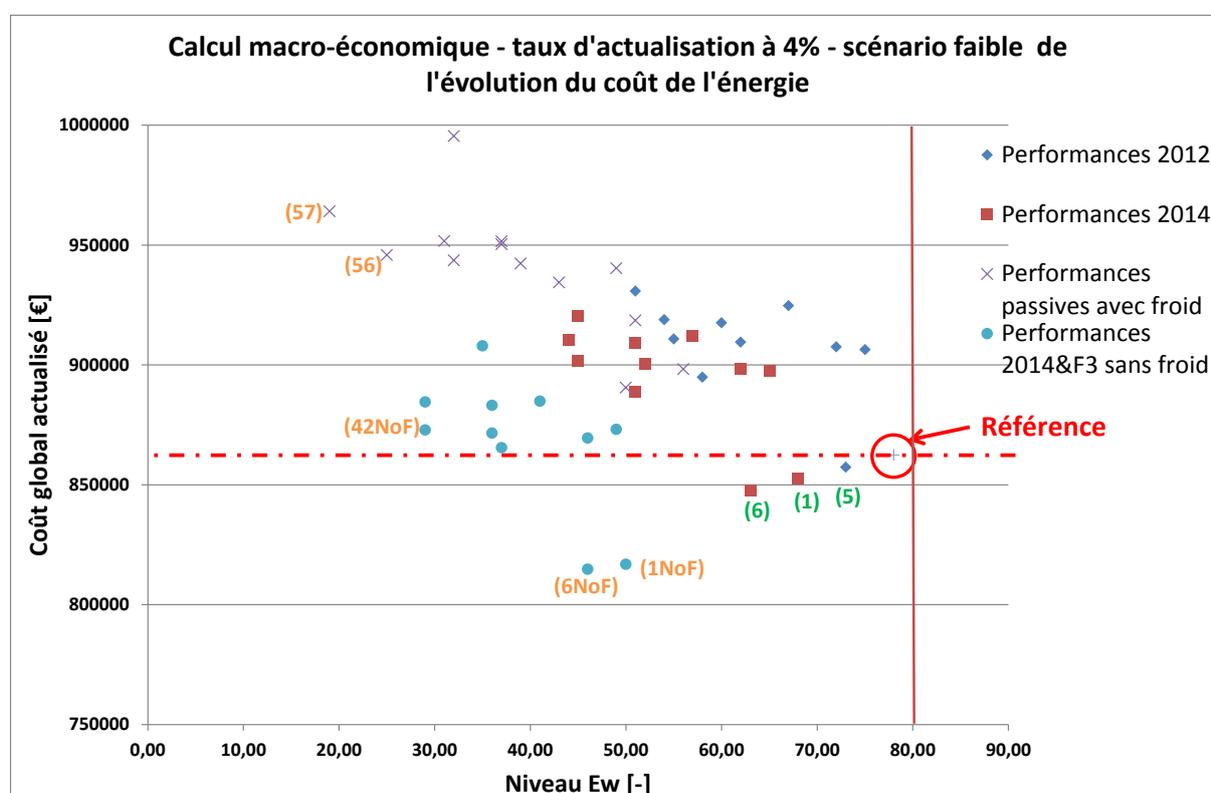


Figure 26 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : évolution du CGA en fonction du Ew, scénario faible d'évolution du coût

de l'énergie

Pour une évolution élevée du prix de l'énergie, en plus des mesures reprises dans le Tableau 3, toutes les mesures « NoF » (aucune production de froid, performances 2014 pour les parois opaques, F3 pour les fenêtres) deviennent rentables, ainsi que deux autres mesures, en rouge sur la Figure 27.

Il s'agit des mesures 31 et 32 :

- 31 : isolation des parois selon les exigences **2012**, utilisation d'une chaudière à pellets et présence d'une machine à compression de froid, récupération de chaleur, diming et protections extérieures manuelles.
- 32 : isolation des parois selon les exigences **2014**, utilisation d'une chaudière à pellets et présence d'une machine à compression de froid, récupération de chaleur, diming et protections extérieures manuelles.

Ces mesures ne sont rentables (par rapport à la situation de référence) que dans le cas d'un scénario élevé d'évolution des prix de l'énergie. Ceci est dû à la quantité de gaz à effet de serre émis par la biomasse, très faible en comparaison des autres sources d'énergies fossiles.

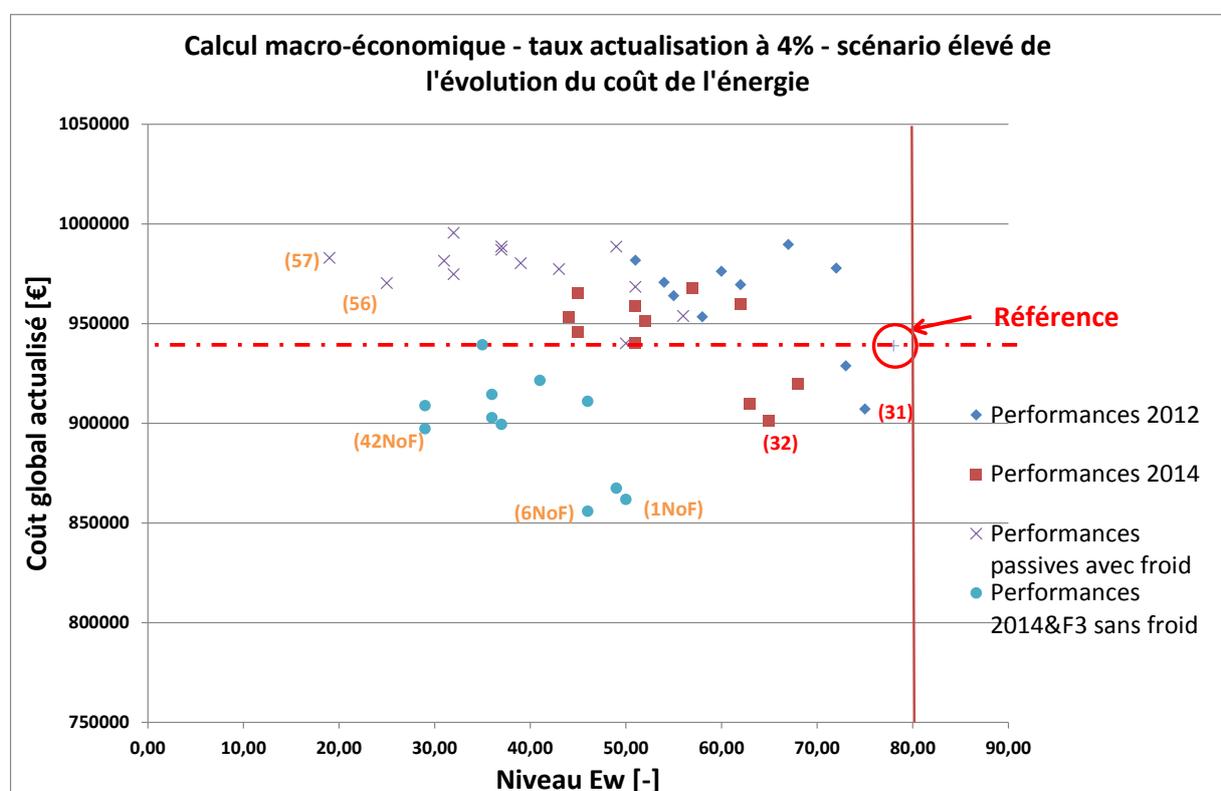


Figure 27 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : évolution du CGA en fonction du Ew, scénario élevé d'évolution du coût de l'énergie

Les graphiques de tous les scénarii de prix de l'énergie analysés, pour les taux d'actualisation de 3 et 4% sont repris en annexes K et L.

Le graphique suivant permet de visualiser l'impact des systèmes de production de chaleur et de froid. En effet, tous les points d'une même couleur possèdent :

- Le même niveau d'isolation (performances 2012, 2014, passive ou 2014&F3)
- Des protections solaires extérieures manuelles
- Du diming pour le contrôle de l'éclairage
- Un même récupérateur de chaleur

Ils diffèrent entre eux par leurs producteurs de chaleur :

- Chaudière à condensation au gaz
- Pompe à chaleur air-eau
- Pompe à chaleur sol-eau
- Cogénération
- Chaudière biomasse non à condensation

En ce qui concerne le producteur de froid, une machine à compression est utilisée, sauf dans le cas où une pompe à chaleur est d'application pour la production de chaleur. Lorsque cela se produit, on considère qu'elle produit également le froid (PAC réversible).

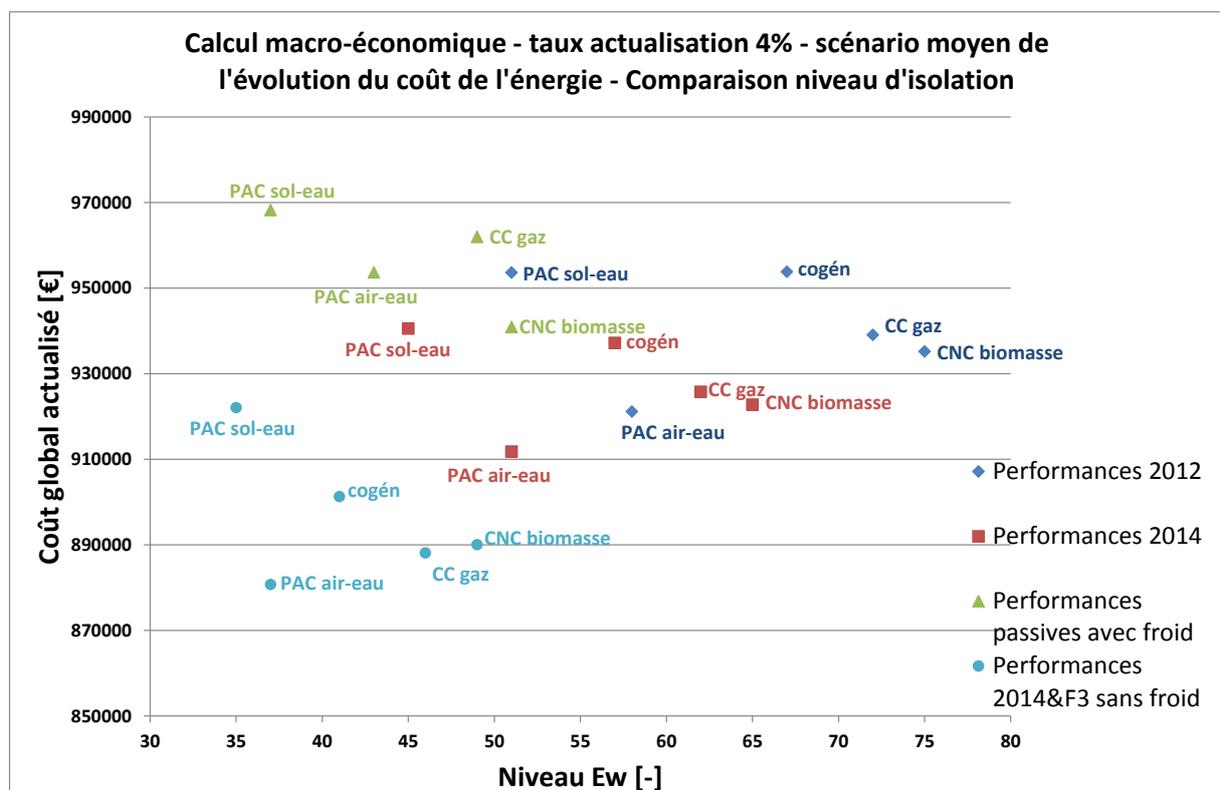


Figure 28 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : comparaison de différents producteurs de chaleur/froid et de niveaux d'isolation

Avec la configuration choisie (diming, protections solaires extérieures manuelles...), la pompe à chaleur air-eau est l'optimum économique pour toutes les performances d'isolation à l'exception du passif.

Dans le cas où les performances passives sont appliquées pour l'enveloppe, c'est la chaudière biomasse non à condensation qui devient l'optimum.

D'un point de vue global, l'optimum économique est donc :

- La pompe à chaleur air-eau lorsqu'aucun système de froid n'est installé, avec des performances 2014 pour les parois opaques et F3 pour les fenêtres. Les différents indicateurs de performance énergétique sont : K33 et E37.
- Egalement la pompe à chaleur air-eau, utilisée en mode réversible pour produire du froid, installé, avec des performances 2014 pour toutes les parois (opaques et fenêtres). Les différents indicateurs de performance énergétique sont alors : K37 et E51.

Dans le cas de bâtiments de bureaux et services, se contenter de respecter les exigences sur les U et installer des systèmes performants permet assez facilement de respecter l'exigence sur le niveau Ew, à condition toutefois de procéder à un encodage détaillé de l'éclairage.

Si l'on ajoute maintenant les solutions incluant de l'énergie renouvelable (panneaux photovoltaïques sur 30 et 50% de la toiture, couplés à une chaudière gaz à condensation), la Figure 29 confirme que ces deux solutions sont économiquement intéressantes, puisque proches de l'optimum économique, et permettant d'avoir un niveau Ew très bas.

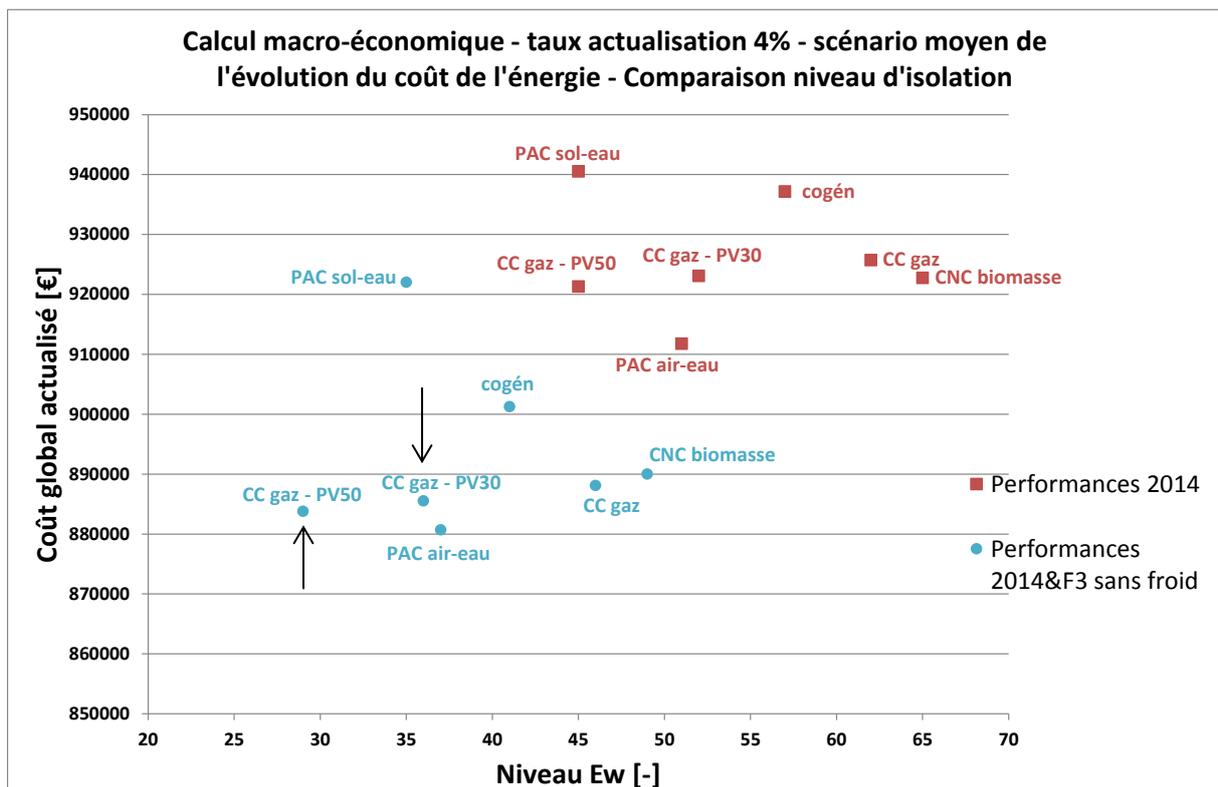


Figure 29 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : comparaison de différents producteurs de chaleur/froid + panneaux photovoltaïques

Le graphique ci-dessus compare différents producteurs de chaleur et de froid lorsque ceux-ci sont couplés à une technique de production d'énergie renouvelable (50% de la toiture couverte de panneaux photovoltaïques). Les résultats exprimés sont ceux issus du calcul macro-économique, avec taux d'actualisation de 4%, et pour les 3 scénarii d'évolution du prix de l'énergie considérés dans cette étude.

Les parois du bâtiment sont isolées selon les performances passives, et des protections solaires extérieures automatisées ainsi que du dimming sont considérés.

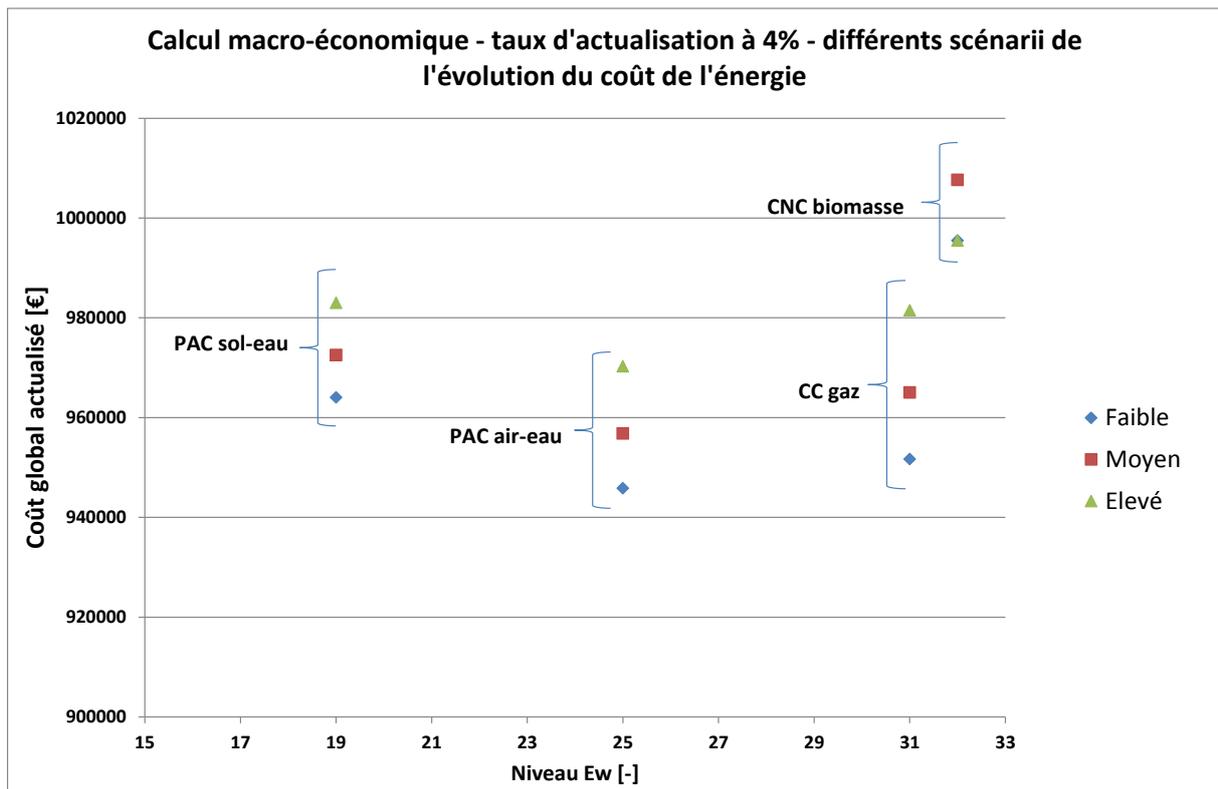


Figure 30 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : comparaison de différents producteurs de chaleur/froid + panneaux photovoltaïques, mesures passives

Dans tous les scénarii étudiés, la pompe à chaleur air-eau représente l'optimum économique pour cette configuration de bureaux neufs.

Ceci est dû au coût d'investissement et de maintenance considérés. En effet, il revient moins cher d'installer une seule pompe à chaleur air-eau réversible, assurant la production de chaleur et de froid, qu'une chaudière à condensation au gaz et une machine à compression de froid. Et même si le vecteur énergétique utilisé est alors l'électricité, l'effet défavorable du facteur de conversion en énergie primaire (2,5 contre 1 pour le gaz) sur le niveau Ew est compensé par le très bon rendement de ce type de système.

Couplée avec des panneaux photovoltaïques, elle donne un niveau Ew très intéressant (Ew 25).

La combinaison d'une chaudière à condensation au gaz avec des panneaux photovoltaïques conduit également à de très bons résultats, fort proches de l'optimum. La différence n'est que de 8 233 € pour le scénario moyen, et ce sur la période d'évaluation de 20 ans. Cela représente 34 € par mois.

Comme pour le secteur résidentiel, les Figure 31 et Figure 32 montrent clairement que les coûts associés au calcul financier sont toujours supérieurs à ceux associés au calcul macro-économique, pour les performances 2014 et performances 2014&F3.

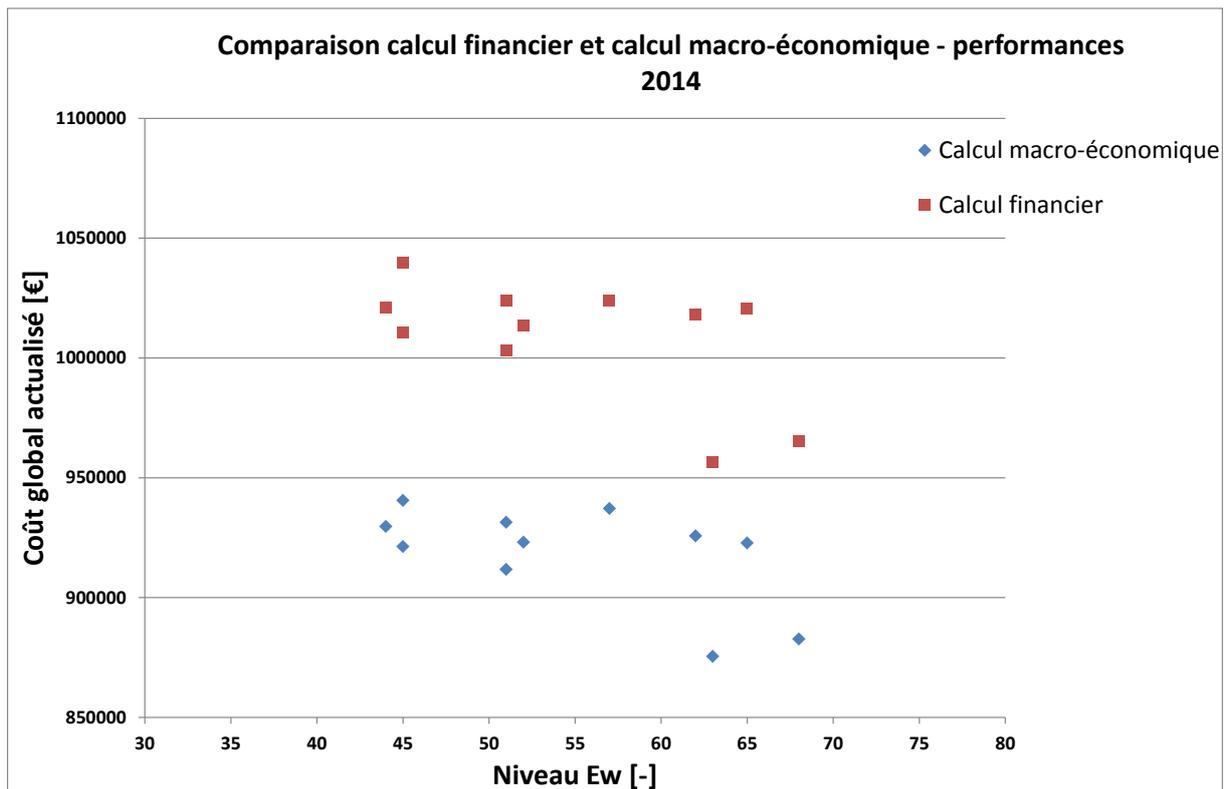


Figure 31 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : comparaison calculs financier et macro-économique, performances 2014

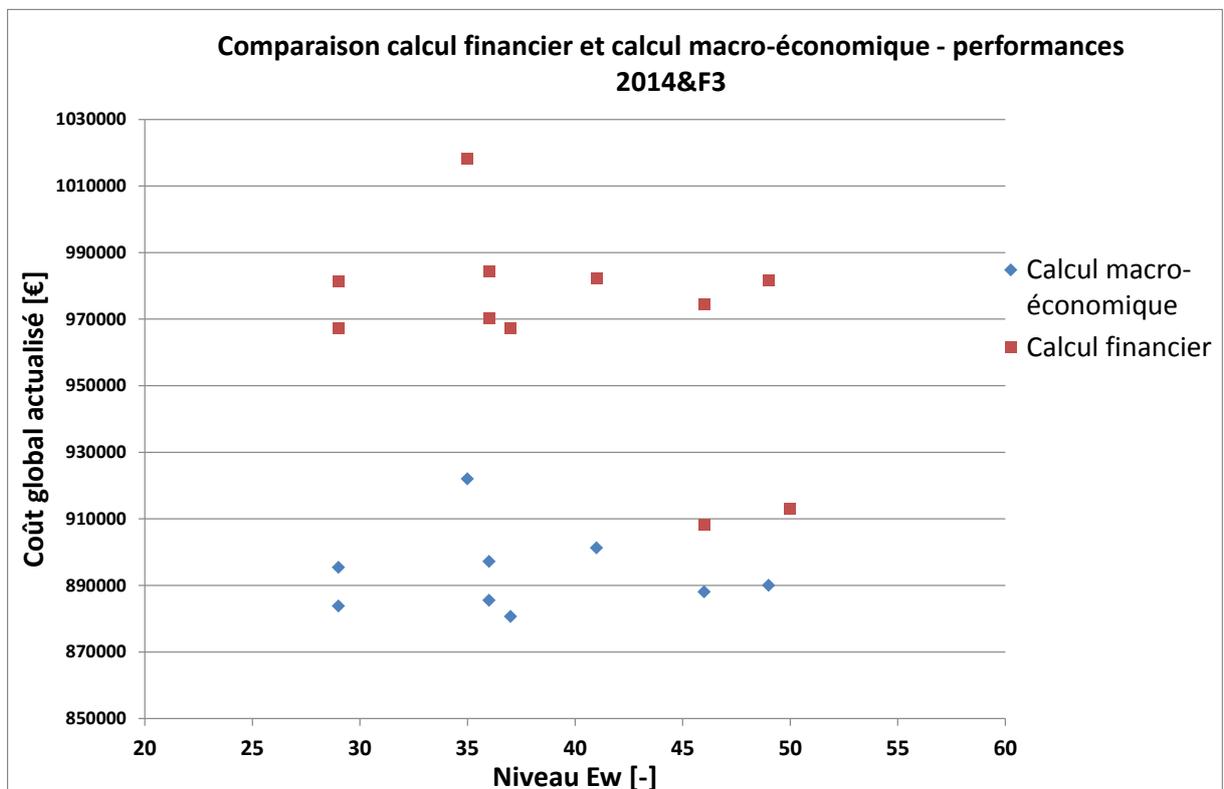


Figure 32 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : comparaison calculs financier et macro-économique, performances 2014 & F3

L'analyse de l'impact des scénarii d'évolution du coût de l'énergie sur les deux niveaux de performances extrema de cette étude (performances 2012 et passive) montre que, lorsque le niveau d'isolation devient plus performant, l'augmentation du coût de l'énergie a beaucoup moins d'impact sur le coût global actualisé.

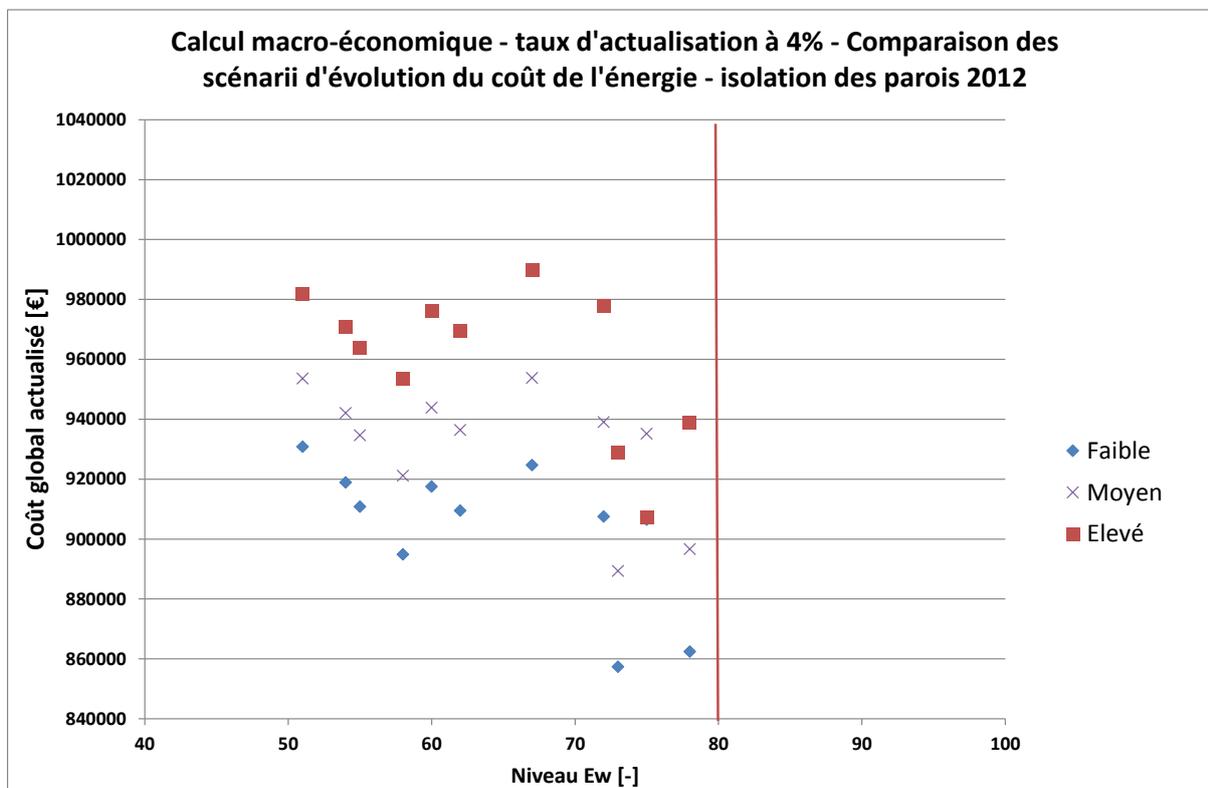


Figure 33 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : comparaison des différents scénarii d'évolution du coût de l'énergie pour les performances 2012

Les mesures/groupes/variantes passifs donnant les coûts globaux actualisés les moins élevés (mais bien au-delà de l'optimum économique) sont les mesures :

- (4) : protections solaires intérieures manuelles, détecteurs de présence pour les luminaires, récupération de chaleur, chaudière à condensation et machine à compression de froid
- (9) : protections solaires intérieures manuelles, diming pour les luminaires, récupération de chaleur, chaudière à condensation et machine à compression de froid

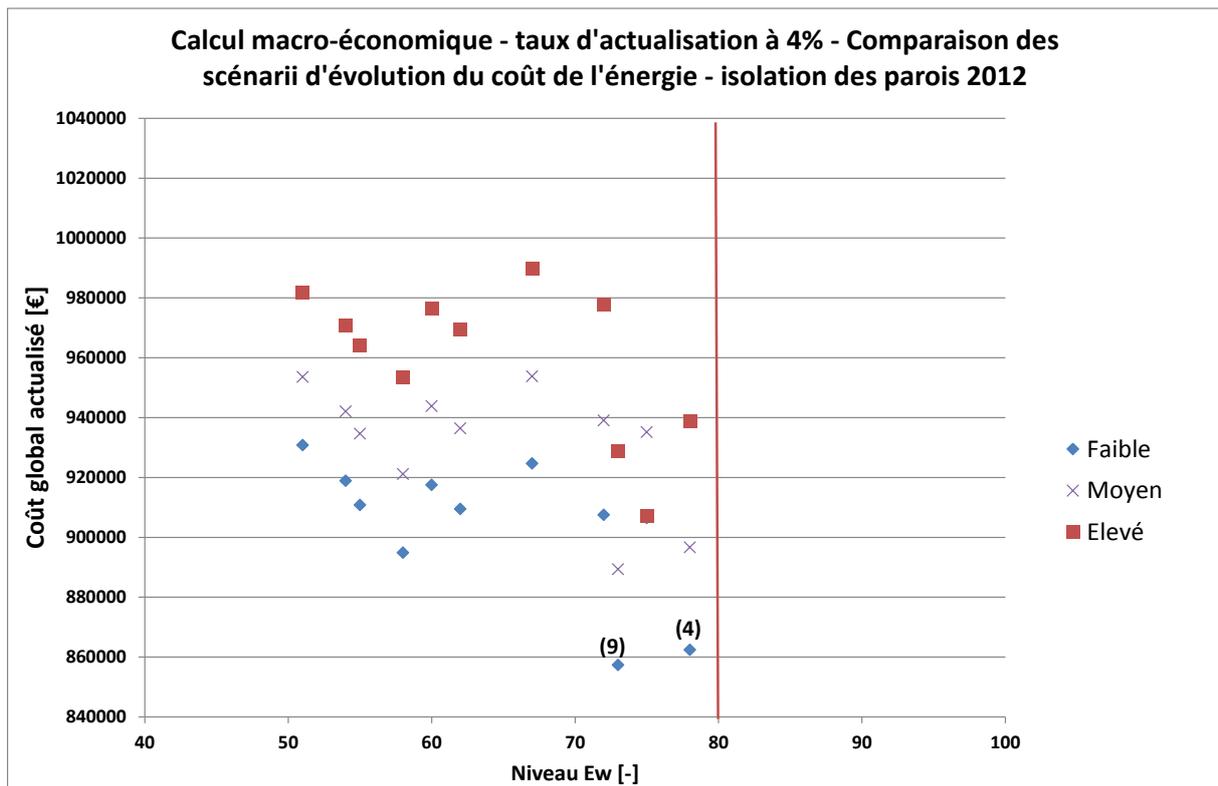


Figure 34 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : comparaison des différents scénarii d'évolution du coût de l'énergie pour les performances passives

4. Résultats globaux pour les bâtiments de bureaux et services existants

Ce paragraphe globalise les résultats obtenus pour les 2 bâtiments de bureaux et services existants étudiés dans cette étude.

Les résultats sont présentés en fonction des hypothèses retenues : calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4% et scénario moyen d'évolution des prix de l'énergie.

Dans le rapport « bâtiments de référence », page 9, est repris le nombre de bâtiments tertiaires existants en Wallonie, avec la tranche d'âge leur correspondant.

Le GBE2 représente la tranche <1945 ; le PBE2 la tranche 1971-1990. Sachant que le nombre total de bâtiments tertiaires est de 331 693, on considère donc qu'ils représentent les pourcentages suivants :

Bâtiment de référence	Nombre de bâtiments de ce type	Pourcentage
GBE2	127 331	38,4 %
PBE2	51 945	15,6 %

Tableau 4 - Pourcentage des typologies de bâtiments de bureaux existants en Région Wallonne [source : statbel]

Afin de pondérer les résultats obtenus dans l'étude, les pourcentages suivants seront donc considérés :

Bâtiment de référence	Pourcentage
GBE2	71%
PBE2	29%

Tableau 5 - Proportion relative des bâtiments envisagés dans l'étude CO-ZEB (sur un total de 54% parmi les bâtiments tertiaires existants en Région Wallonne)

Les résultats individuels, présentés précédemment, sont donc pondérés selon le pourcentage du Tableau 5 pour obtenir les résultats globaux.

Pour chaque bâtiment une série de mesures/groupes/variantes a été étudiée, comme par exemple le remplacement des fenêtres seules ou l'isolation complète du bâtiment selon les caractéristiques thermiques de 2014 ...

L'isolation passive des bâtiments n'est envisagée que pour une isolation complète sans les murs mitoyens.

En ce qui concerne l'isolation par l'intérieur ou l'extérieur du bâtiment, nous avons considéré que les deux cas étaient en général possibles, et que le choix de l'un ou l'autre relèverait d'un choix du maître d'ouvrage. En conséquence, deux optima seront donc présentés : l'un pour une isolation par l'intérieur, l'autre pour une isolation par l'extérieur.

La méthode de calcul est la suivante :

- Analyse des mesures-groupes-variantes de chaque bâtiment
- Combinaison des mesures identiques: par exemple, V2012 seul ou F2012 seul ou F2014+T2014+M2014+S2014, ...
 - o Selon le pourcentage de la typologie des bâtiments en Région Wallonne

Les résultats sont présentés sur des graphiques du coût global actualisé en fonction du U [W/m²K]

d'un élément de bâtiment. Sur chaque graphique, une droite verte pointillée situe le bâtiment **global** de « base » sur lequel aucune amélioration thermique n'est apportée.

Bâtiment de bureaux et services « GLOBAL » existant

La Figure 35 illustre le coût global actualisé en fonction du U global des fenêtres. On constate que, à l'exception des mesures « fenêtres seules », l'ensemble des mesures/groupes/variantes permet une économie en termes de coût global actualisé (par rapport à la référence).

Pour chacune des courbes, on constate que l'optimum correspond aux performances thermiques 2014, et ce sans exception.

- En remplaçant uniquement les fenêtres : aucune solution n'est économiquement rentable
- En remplaçant les fenêtres et en isolant le toit, l'optimum économique correspond aux performances thermiques de 2014, pour un coût global actualisé de 1 749 725€, et un niveau K de 80.
- En remplaçant les fenêtres et en isolant le toit et la façade par l'extérieur, l'optimum économique correspond aux performances thermiques de 2014, pour un coût global actualisé de 1 730 448€, et un niveau K de 51.
- En remplaçant les fenêtres et en isolant le toit et la façade par l'intérieur, l'optimum économique correspond aux performances thermiques de 2014, pour un coût global actualisé de 1 684 704€, et un niveau K de 51.
- En remplaçant les fenêtres et en isolant tout (façade par l'extérieur et isolation au-dessus de la dalle), l'optimum économique correspond probablement aux performances thermiques de 2014, pour un coût global actualisé de 1 718 244€, et un niveau K de 28. On ne peut pas en être sûr, puisque seuls deux points ont été simulés, mais la tendance des autres courbes indique une forte probabilité que cela soit le cas.
- En remplaçant les fenêtres et en isolant tout (façade par l'intérieur et isolation au-dessus de la dalle), l'optimum économique correspond aux performances thermiques de 2014, pour un coût global actualisé de 1 672 501€ et un niveau K de 28.

Actuellement les exigences 2012 sur les U des parois ne correspondent donc pas à un optimum. Néanmoins, les caractéristiques thermiques de 2014 sont d'ores et déjà imposées pour le 1^{er} janvier 2014, et sont donc pleinement corroborés par cette étude.

Le graphique montre cependant qu'isoler entièrement (à l'exception des murs mitoyens) le bureau existant global selon les caractéristiques thermiques passives est encore rentable par rapport au bâtiment dans son état de référence. Cependant, comme soulevé dans la partie portant sur le résidentiel, isoler entièrement un bâtiment de cette façon a un coût d'investissement beaucoup plus élevé que pour les autres performances étudiées.

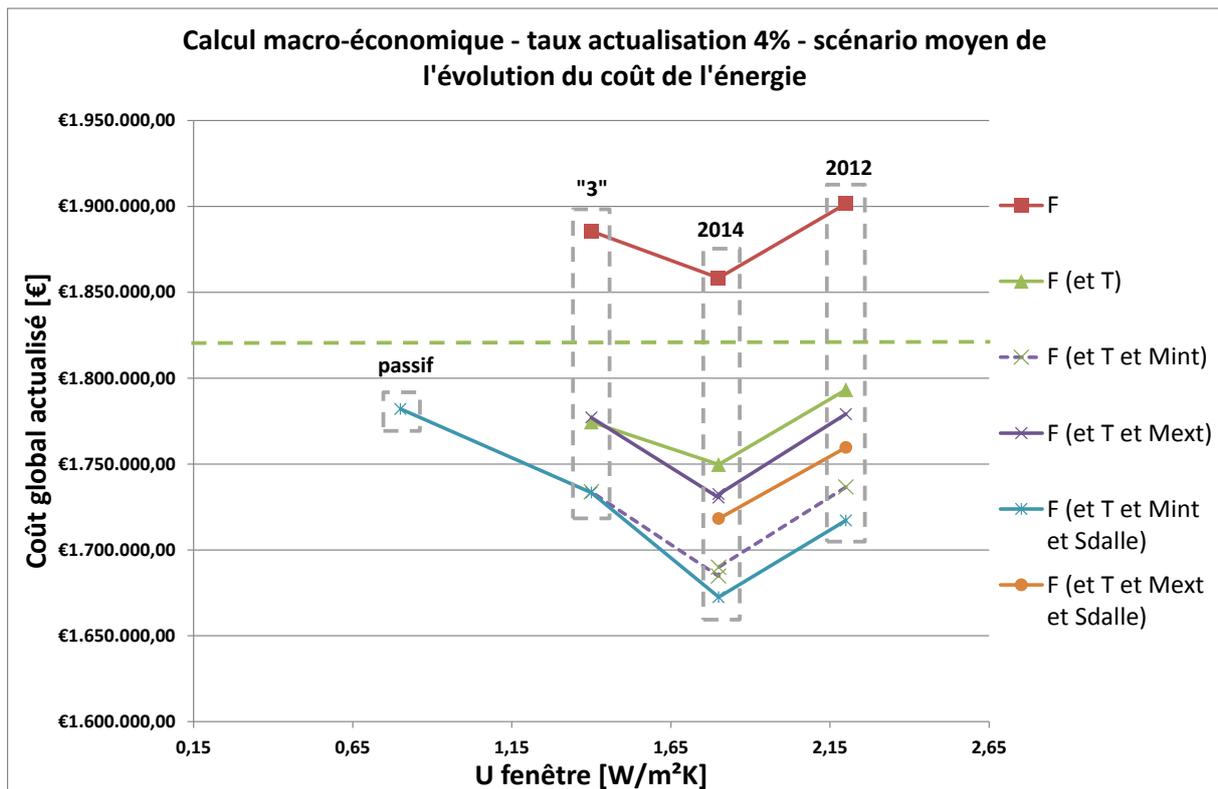


Figure 35 – Bureau existant GLOBAL : coût global actualisé en fonction de U_w , calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen d'évolution des prix de l'énergie

La Figure 36 illustre le coût global actualisé en fonction du U du toit. On constate que, dans ce cas, l'ensemble des mesures/groupes/variantes permet une économie en termes de coût global actualisé (par rapport à la référence).

Pour chacune des courbes, on constate que l'optimum correspond aux performances thermiques 2014, et ce sans exception. Les optima sont les mêmes que précédemment.

Il est cependant important de noter que l'isolation de la toiture seule conduit à de très bons résultats. Cette mesure est la plus rentable pour les performances 2012 et « 3 ». Même si cette mesure n'est pas la plus économique pour les performances 2014, elle se classe quand même dans le trio de tête.

Elle permet une économie de près de 115 000€ sur la période d'évaluation de 20 ans ; la mesure optimum (tout isoler selon 2014, par l'intérieur pour la façade et par le dessus de la dalle) ne permet finalement qu'une économie supplémentaire de 38 000€ sur cette même période.

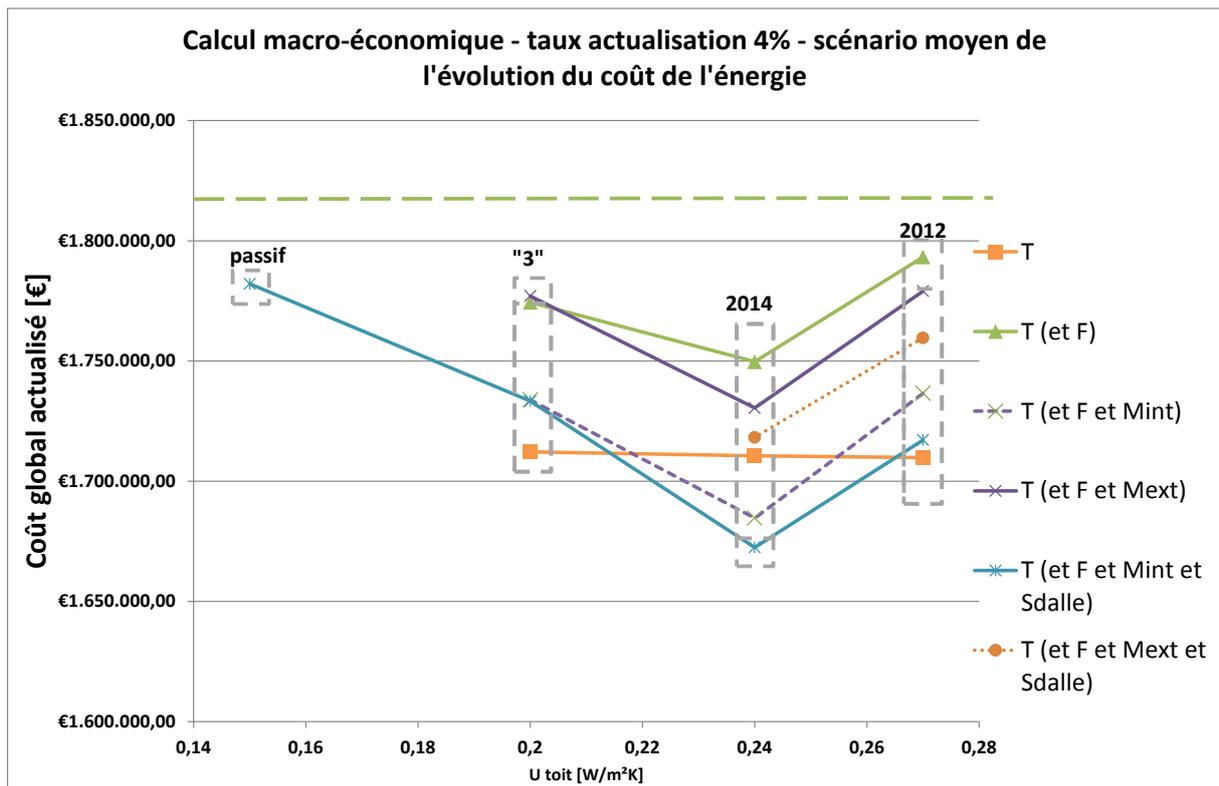


Figure 36 – Bureau existant GLOBAL : coût global actualisé en fonction de U toit, calcul macro-économique, taux d'actualisation 4%, scénario moyen d'évolution des prix de l'énergie

5. Résultats pour les bâtiments de bureaux et services neufs

Pour les bâtiments neufs de bureaux et services, un seul bâtiment de référence a été choisi pour cette étude.

Ce paragraphe reprend donc un résumé des résultats s'y rapportant, principalement pour le calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4% et scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie.

Nouveau bâtiment de bureaux et services

Un nouveau bâtiment de bureaux et services doit satisfaire aux exigences portant sur les niveaux Ew et K (ainsi que les valeurs Umax/Rmin appliquées aux parois).

Les niveaux actuels sont K45 et Ew80 ; les résultats de cette étude devront donc être justifiés si :

- L'optimum pour le niveau Ew est inférieur à 68 ou supérieur à 92
- L'optimum pour le niveau K est inférieur à 38 ou supérieur à 52

La figure ci-dessous montre l'ensemble des résultats obtenus pour nouveau bâtiment, pour toutes les solutions testées **assurant le confort** dans le bâtiment. En effet, beaucoup d'autres solutions ont été envisagées et simulées, mais ne satisfaisaient pas au critère choisi permettant d'assurer le confort (voir chapitre 3 « Bâtiment de bureaux neuf », paragraphe « Remarque importante » pour plus d'explications).

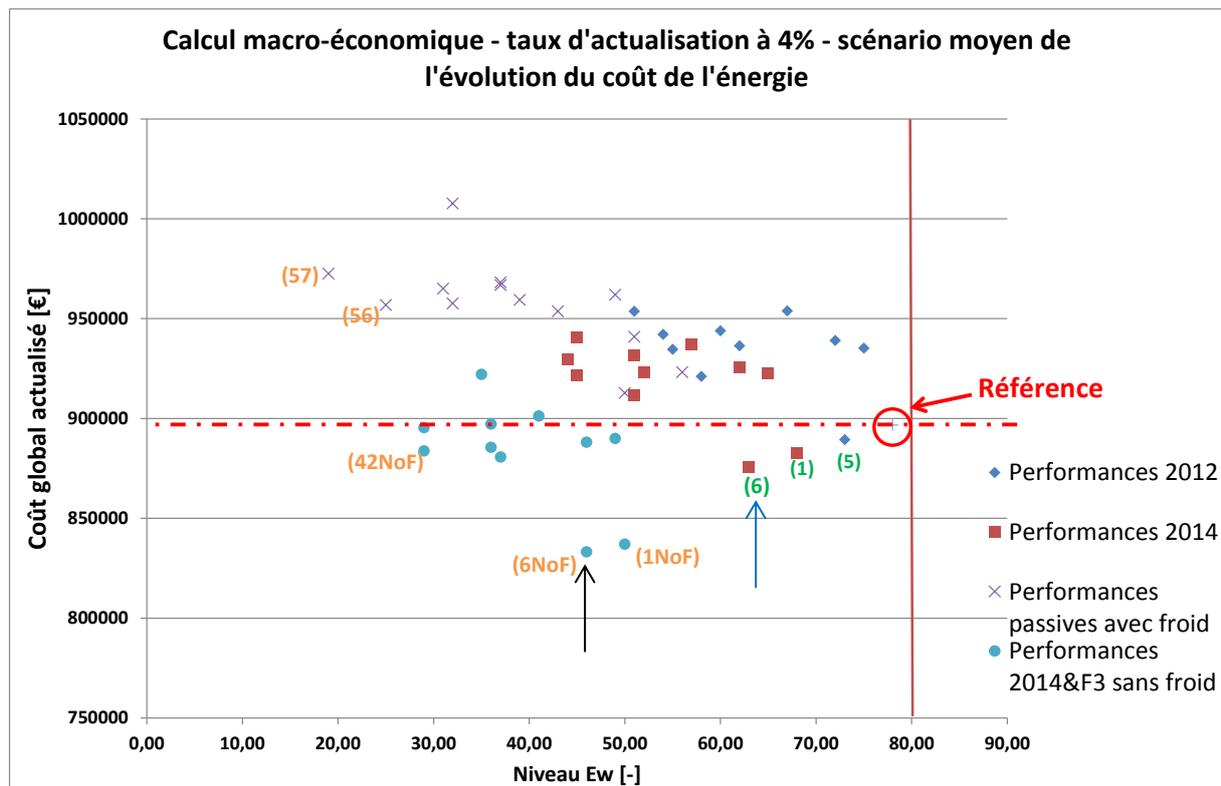


Figure 37 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : évolution du CGA en fonction du Ew, scénario moyen d'évolution du coût de l'énergie

L'optimum économique correspond à une isolation des parois opaques selon les exigences 2014, avec des vitrages solaires de type « F3 ». Au niveau des systèmes, cette mesure correspond à la mise en œuvre d'une chaudière à condensation au gaz, avec un récupérateur de chaleur, du diming et des protections solaires intérieures manuelles. Le Ew obtenu est de 50 et le niveau K est de 33 pour un

coût global actualisé de 833 196€.

L'optimum est donc hors de la fourchette définie par les « guidelines » :

- le niveau K optimum (K33) est inférieur de 26,7% au niveau K réglementaire actuel (K45)
- le niveau Ew optimum (Ew 50) est inférieur de 37,5% au niveau Ew réglementaire actuel (Ew80).

Cependant, ces niveaux optima correspondent à une mesure/groupe/variante qui utilise les performances 2014 pour ses parois opaques, et la performance « F3 » pour ses fenêtres. Cela signifie que les performances fixées pour 2014, qui seront d'application dans quelques mois, devraient permettre d'atteindre des niveaux de performances proches, à condition toutefois de ne pas se contenter de bien isoler mais d'également utiliser des systèmes performants.

Il est important de noter que cet optimum correspond au cas d'un bâtiment sans système de refroidissement. Pour des bâtiments de bureaux et services, où les réglementations sur la protection du travailleur sont d'application, on ne pourra peut-être pas toujours prendre le risque d'avoir des problèmes d'inconfort estival, et une machine de froid sera souvent installée, même si elle n'est pas strictement nécessaire. Dans le cas où une installation active de froid est placée, l'optimum économique correspond à une isolation des parois selon les performances d'enveloppe 2014, sans vitrage solaire, avec protections solaires intérieures manuelles, diming, chaudière à condensation, récupération de chaleur et machine à compression de froid.

Le Ew atteint est alors de 63 et le niveau K est de 37 pour un coût global actualisé de 875436€.

L'optimum est donc, de peu, hors de la fourchette définie par les « guidelines » :

- le niveau K optimum (K37) est inférieur de 17,8% au niveau K réglementaire actuel (K45)
- le niveau Ew optimum (Ew 63) est inférieur de 21,3% au niveau Ew réglementaire actuel (Ew80).

La même remarque que pour le cas où aucun groupe de froid n'est installé peut être également être mentionnée.

Il est également intéressant de souligner que toutes les mesures ayant recours à une isolation selon les performances passives donnent un coût global actualisé plus élevé que la référence ; cela signifie que l'isolation de l'enveloppe selon les recommandations passives est un investissement difficile à rentabiliser sur une période d'évaluation de 20 ans.

Les deux optima précités restent les mêmes pour des scénarii faible et élevé de l'évolution du prix de l'énergie. Pour un scénario élevé des prix de l'énergie, beaucoup plus de mesures/groupes/variantes deviennent rentables (cf. Figure 38). De plus, la mesure optimum pour les performances 2014 change, et devient la suivante : isolation des parois selon les exigences 2014, utilisation d'une chaudière à pellets et présence d'une machine à compression de froid, récupération de chaleur, diming et protections extérieures manuelles.

Cette mesure n'est rentable (par rapport à la situation de référence) que dans le cas d'un scénario élevé d'évolution des prix de l'énergie. Ceci est dû à la quantité de gaz à effet de serre émis par la biomasse, très faible en comparaison des autres sources d'énergies fossiles.

L'optimum est donc fonction du scénario d'évolution du coût de l'énergie choisi.

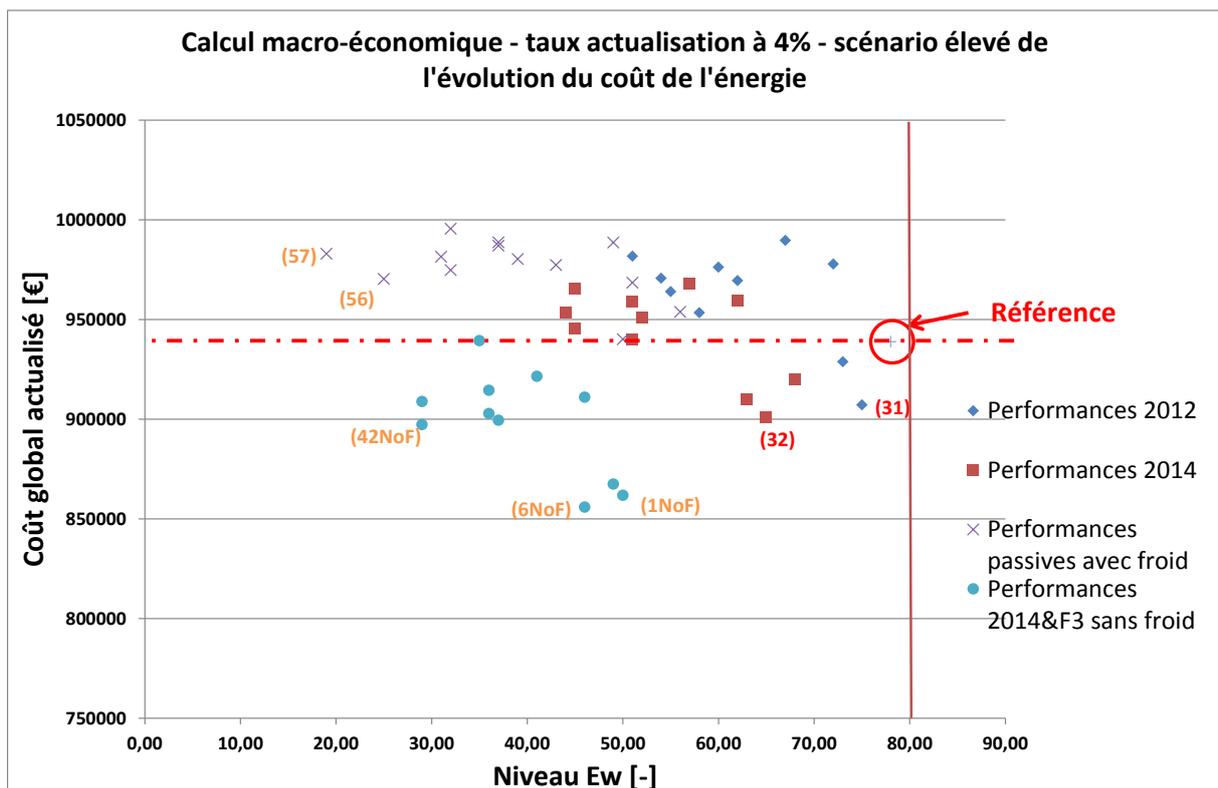


Figure 38 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : évolution du CGA en fonction du Ew, scénario élevé d'évolution du coût de l'énergie

Au niveau des systèmes, le graphique suivant permet de visualiser l'impact des systèmes de production de chaleur et de froid. En effet, tous les points d'une même couleur affichent :

- Le même niveau d'isolation (performances 2012, 2014, passive ou 2014 & F3)
- Des protections solaires extérieures manuelles
- Du dimming pour le contrôle de l'éclairage
- Un même récupérateur de chaleur

Ils diffèrent entre eux au niveau des producteurs de chaleur.

En ce qui concerne le producteur de froid, une machine à compression est utilisée, sauf dans le cas où une pompe à chaleur est utilisée pour la production de chaleur. Lorsque cela se produit, on considère qu'elle produit également le froid (PAC réversible).

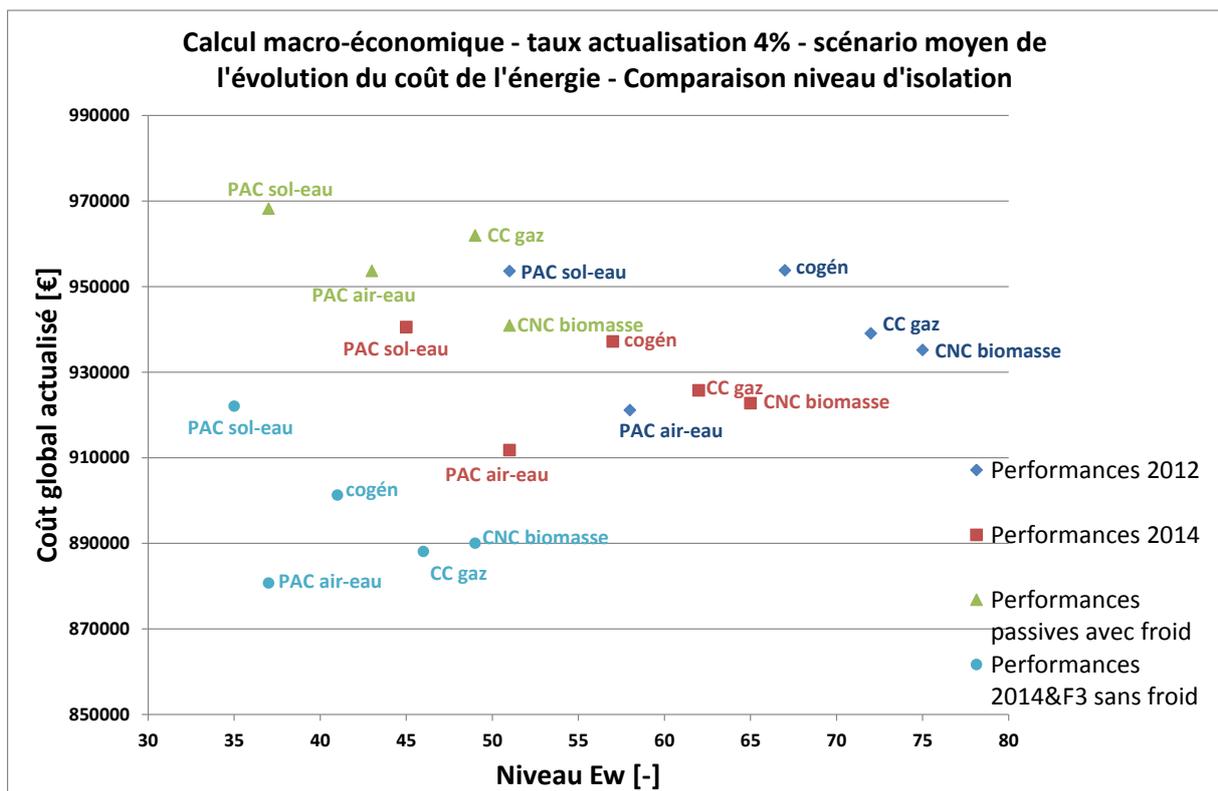


Figure 39 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : comparaison de différents producteurs de chaleur/froid et de niveaux d'isolation

Avec la configuration choisie (diming, protections solaires extérieures manuelles...), la pompe à chaleur air-eau constitue un optimum économique pour toutes les performances d'isolation à l'exception du passif. Dans le cas où les performances passives sont appliquées à l'enveloppe, c'est la chaudière biomasse sans condensation qui constitue l'optimum.

Les systèmes les plus intéressants pour les bureaux et services sont dès lors :

- la pompe à chaleur air-eau,
- la chaudière biomasse sans condensation
- la chaudière à condensation au gaz.

Sans réelle surprise, la cogénération ne fait pas partie des systèmes intéressants pour ce type de bâtiment. Le profil d'utilisation lié à la fonction bureaux n'est en effet pas suffisamment étendu pour que la cogénération puisse fonctionner longtemps à plein régime, alors que c'est une condition sine qua non à sa rentabilité.

Dans le cas de bâtiments de bureaux et services, respecter les exigences au niveau des U de parois et installer des systèmes performants permet assez facilement d'atteindre un niveau Ew performant, à condition toutefois de procéder à l'encodage détaillé de l'éclairage dans l'outil PEB.

En ce qui concerne les solutions recourant aux énergies renouvelable (panneaux photovoltaïques sur 30 et 50% de la toiture, couplés à une chaudière gaz à condensation), la Figure 40 confirme leur intérêt, celles-ci étant proches de l'optimum en coût global et permettent d'obtenir un niveau Ew très bas.

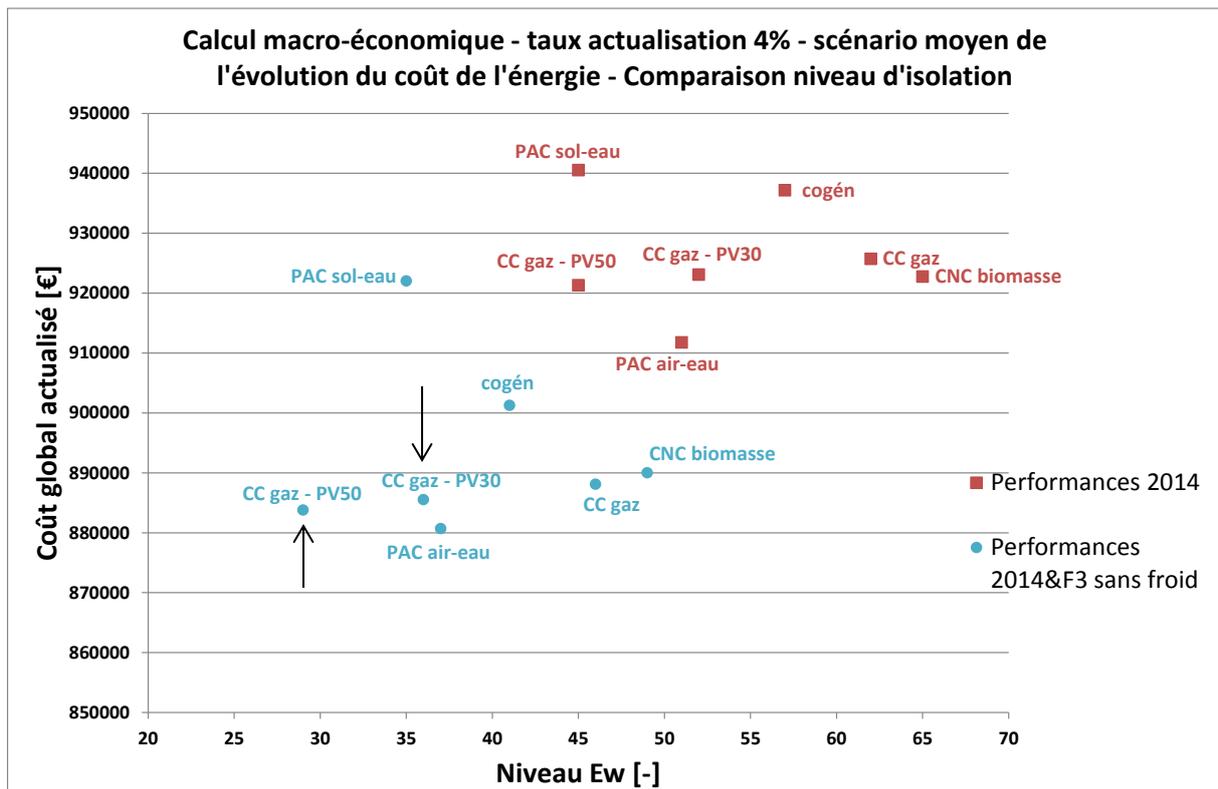


Figure 40 – Nouveau bâtiment de bureaux (NB) : comparaison de différents producteurs de chaleur/froid + panneaux photovoltaïques

Comme pour le secteur résidentiel, les coûts associés au calcul financier sont toujours supérieurs à ceux associés au calcul macro-économique, pour les performances 2014 et performances 2014 & F3.

6. Conclusions

Pour les bureaux et services, existants ou neufs, le coût optimum est observé pour les solutions d'isolation respectant les exigences de performances 2014. Pour l'existant, le simple fait d'isoler la toiture selon ces performances peut conduire à un résultat économiquement très intéressant.

Les résultats obtenus pour les deux immeubles de bureaux existants sont très différents. Cela est dû au fait que, dans le cas du PBE2, une isolation est déjà présente en base, ainsi qu'un double vitrage. L'enveloppe de ce bâtiment est donc (nettement) moins déperditive que l'enveloppe thermique de départ considérée pour le GBE2.

L'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe du petit bâtiment de bureau a dès lors moins d'impact sur les besoins énergétique que pour le grand bureau, tandis que le coût associé à la mise en œuvre des mesures reste élevé. Ceci explique pourquoi certains investissements sont beaucoup moins rentables (voire pas du tout) dans ce type de bâtiment.

Les exigences actuelles (2012) ne semblent pas assez strictes ; toutes les mesures/groupes/variantes testées respectent facilement ces exigences et n'affichent en général pas un coût global actualisé très bas.

Contrairement au secteur résidentiel, un scénario élevé d'évolution des prix de l'énergie ne plaide pas de façon évidente en faveur d'une meilleure isolation que celle définie pour 2014. Les variantes impliquant les performances passives sont parfois rentables (leur CGA est inférieur à celui de la référence), mais ne sont jamais dans la liste des (combinaisons de) mesures les plus intéressantes.

Au niveau des systèmes en revanche, les différents scénarii d'évolution du prix de l'énergie influencent fortement la rentabilité des mesures/groupes/variantes. Dans le cas du nouveau bureau, par exemple, le calcul macro-économique avec un scénario faible ou moyen du prix de l'énergie plébiscite les chaudières à condensation au gaz.

A contrario, un scénario élevé d'évolution des prix de l'énergie conduit à un optimum pour la chaudière biomasse sans condensation, celle-ci émettant globalement moins de CO₂ que leurs concurrentes au gaz ou au mazout.

Les systèmes de chauffage les plus intéressants sont la pompe à chaleur air-eau (utilisée en mode réversible l'été), la chaudière biomasse sans condensation et la chaudière à condensation au gaz. La pompe à chaleur air-eau peut être très intéressante de par son coût d'investissement. En effet, il revient moins cher d'installer une seule pompe à chaleur air-eau réversible, assurant la production de chaleur et de froid, qu'une chaudière à condensation au gaz et une machine à compression de froid. Et même si le vecteur énergétique utilisé est alors l'électricité, l'effet défavorable du facteur de conversion en énergie primaire (2,5 contre 1 pour le gaz) sur le niveau Ew est compensé par le très bon rendement de ce type de système.

La combinaison d'une pompe à chaleur air-eau ou d'une chaudière à condensation au gaz avec des panneaux photovoltaïques obtient également de très bons résultats (cf. Figure 31).

7. ANNEXES

A) PBE 2 – Calcul macro-économique – Taux d'actualisation 4 % - différents scénarii d'évolution des prix de l'énergie

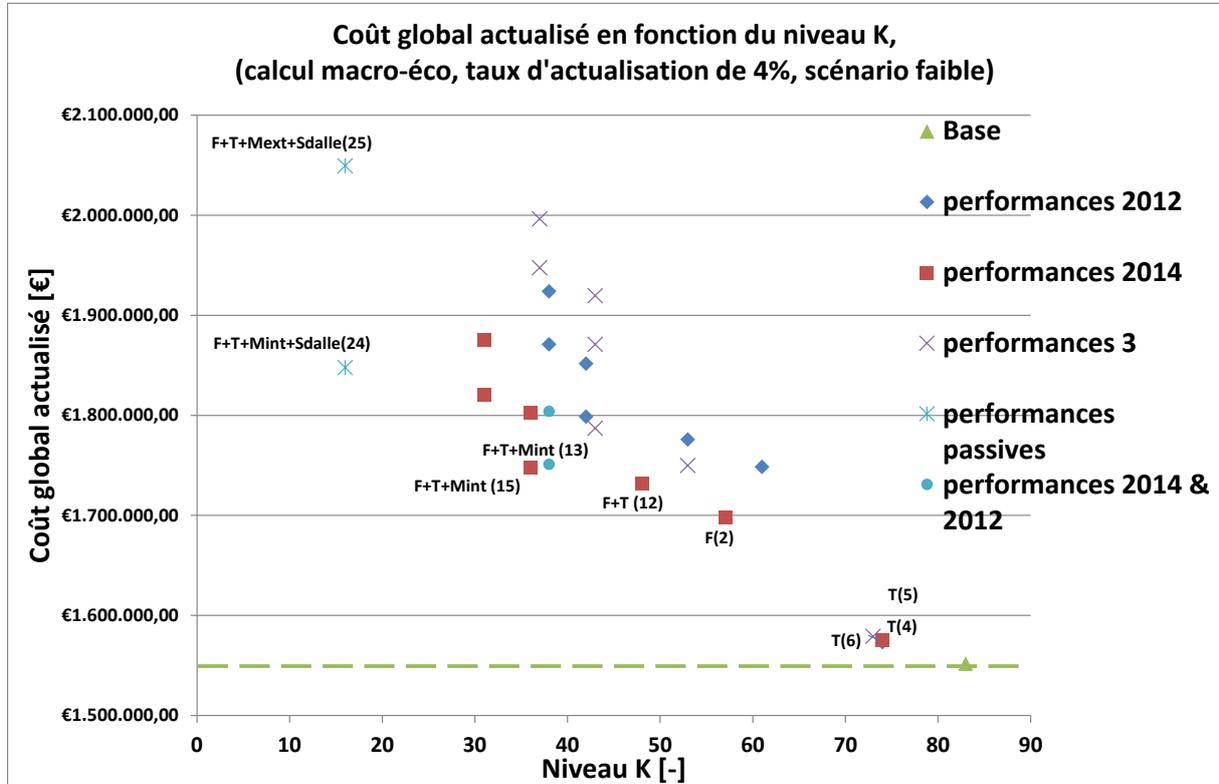


Figure 41 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie

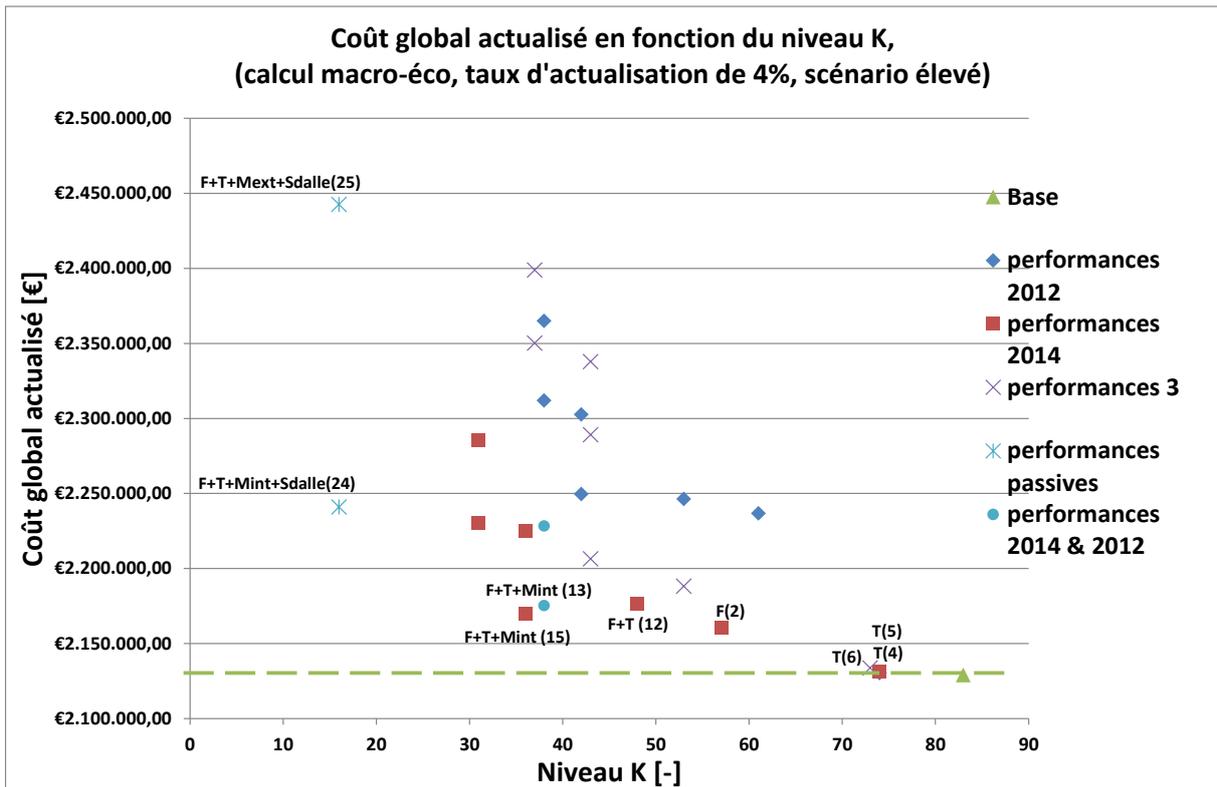


Figure 42 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie

B) PBE 2 – Calcul macro-économique – Taux d'actualisation 3 % - différents scénarii d'évolution des prix de l'énergie

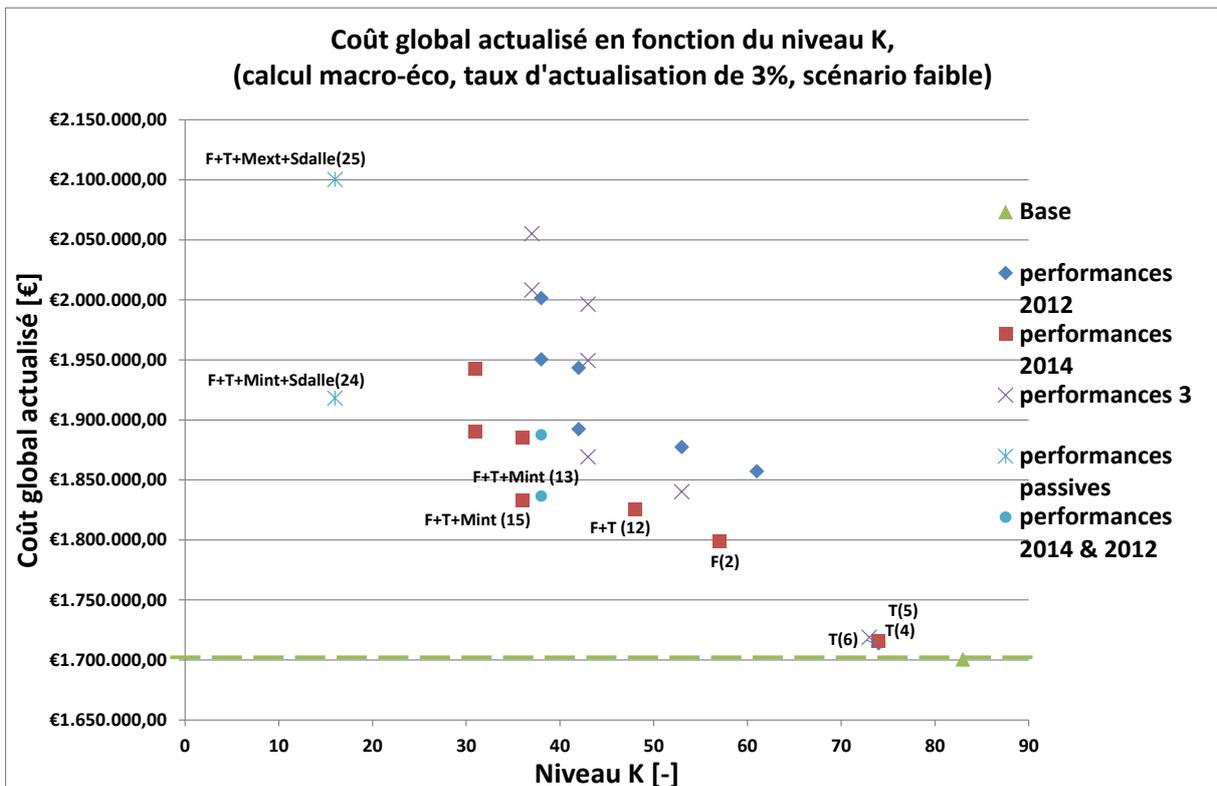


Figure 43 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 3%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie

C) PBE 2 – Calcul financier – Taux d’actualisation 4 % - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie

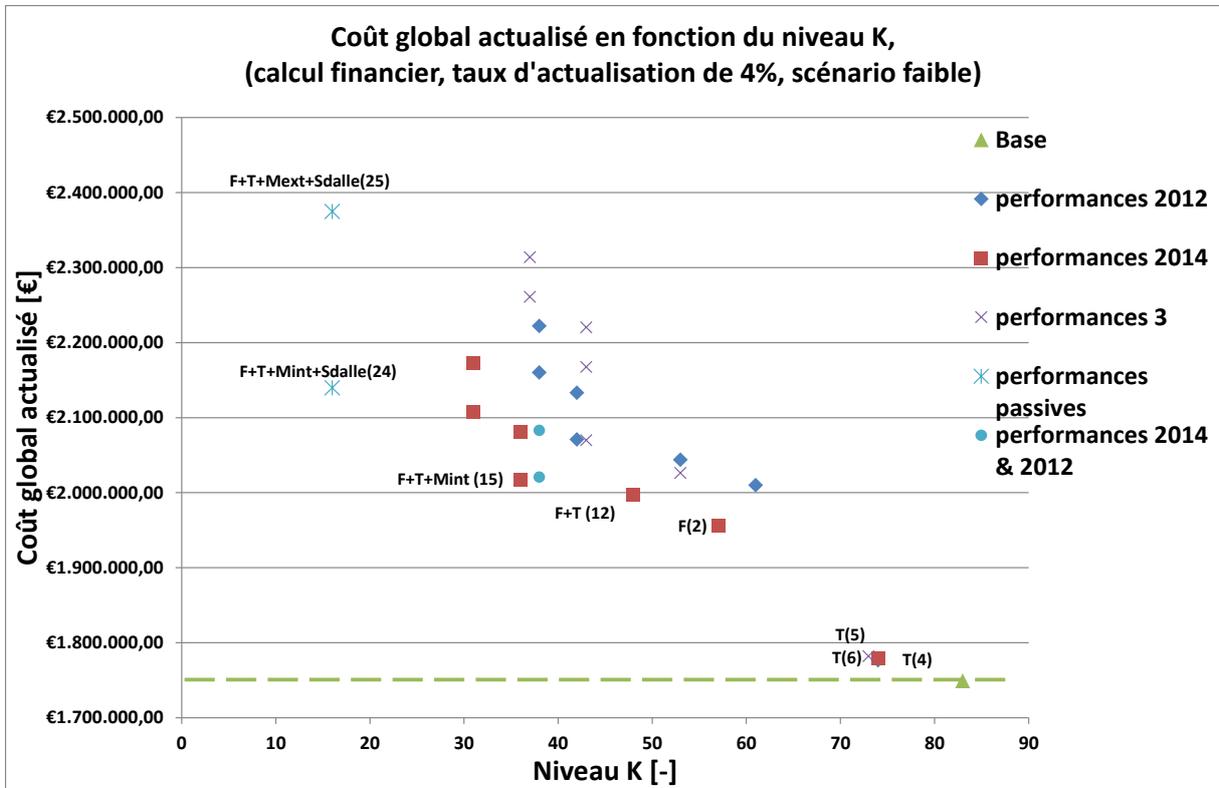


Figure 45 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d’actualisation de 4%, scénario faible de l’évolution du coût de l’énergie

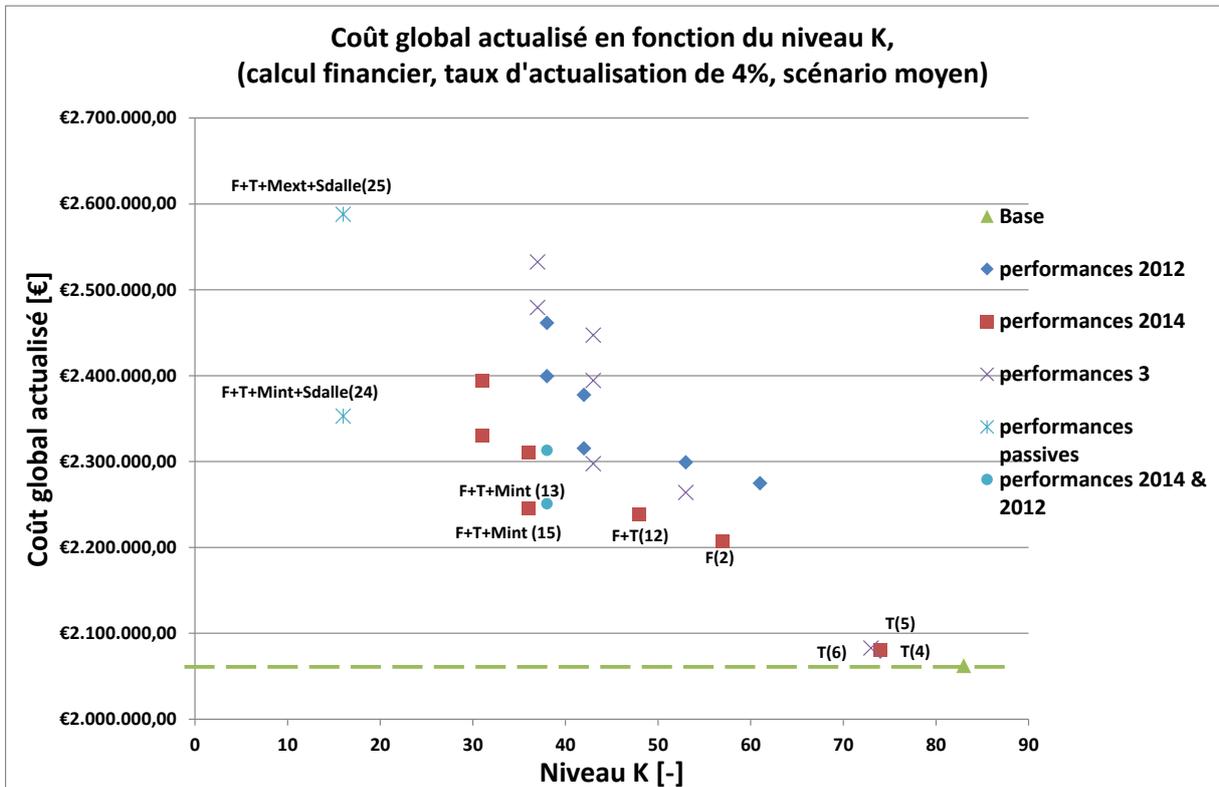


Figure 46 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d’actualisation de 4%, scénario moyen de l’évolution du coût de l’énergie

scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

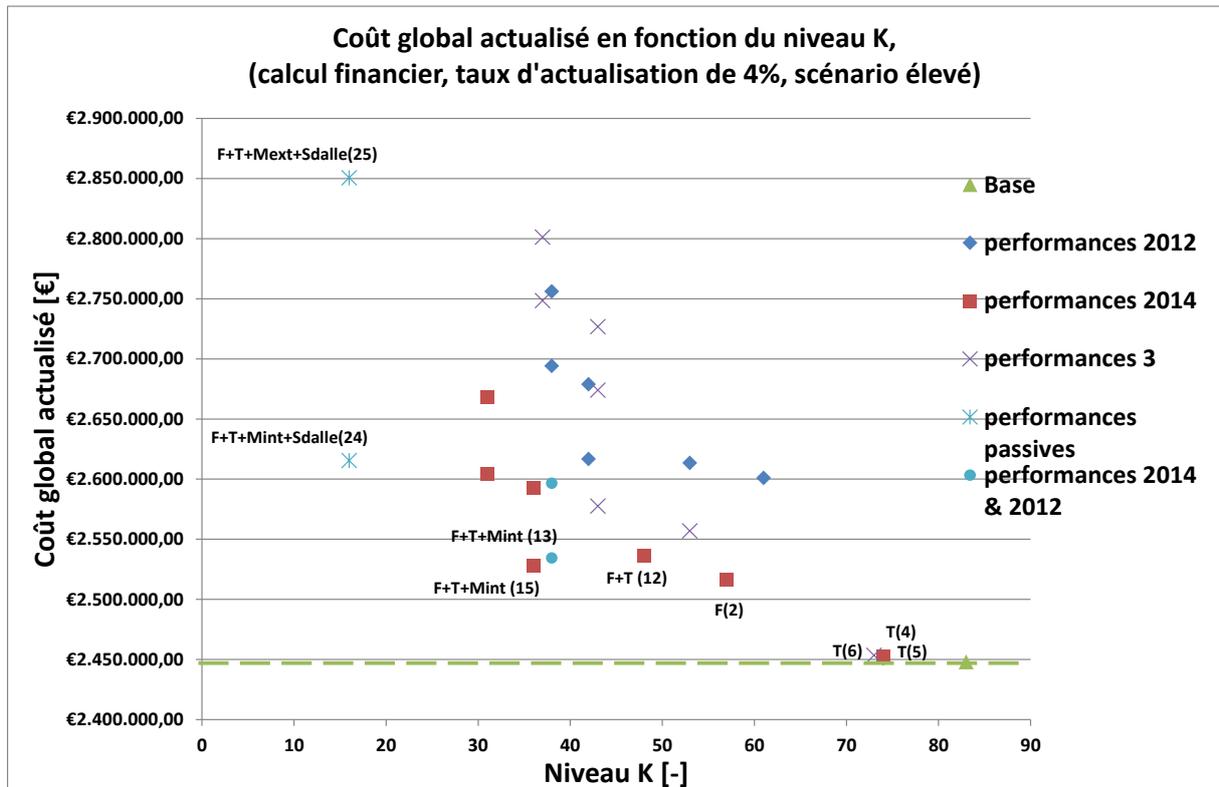


Figure 47 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d'actualisation de 4%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie

D) PBE 2 – Calcul financier – Taux d’actualisation 6 % - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie

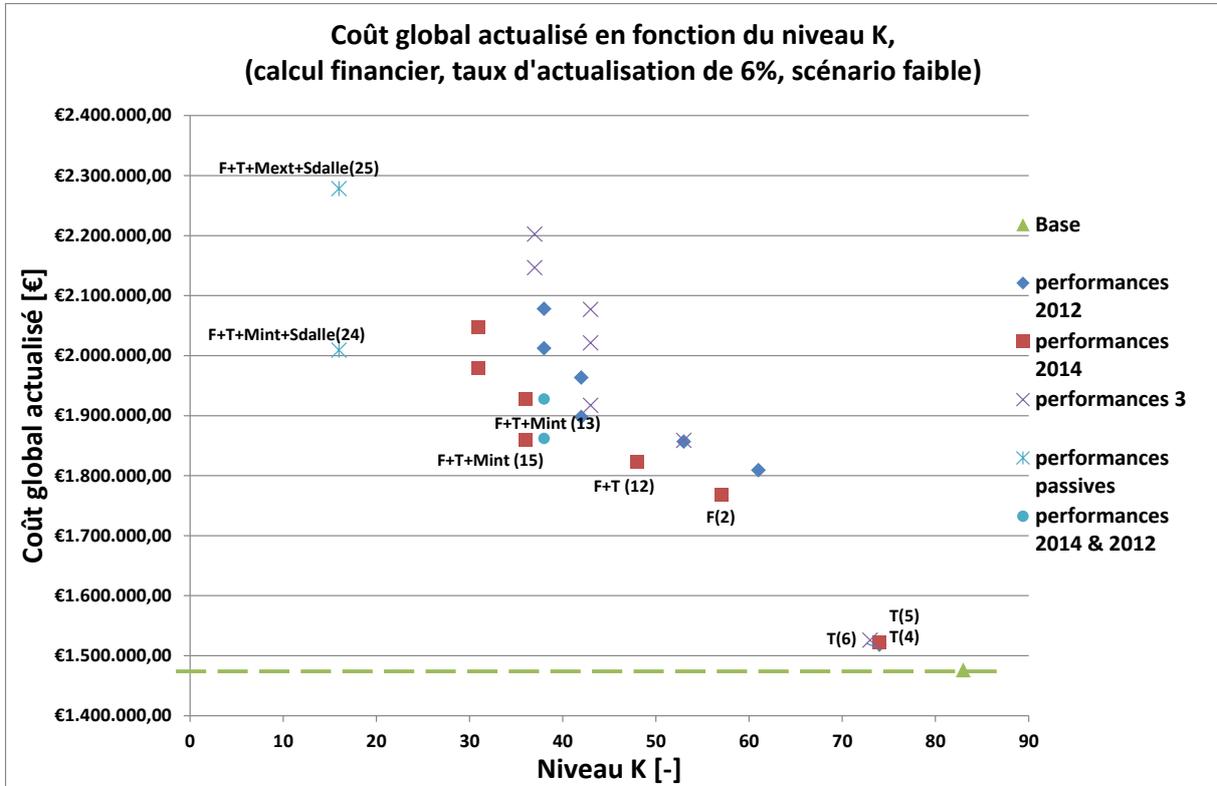


Figure 48 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d’actualisation de 6%, scénario faible de l’évolution du coût de l’énergie

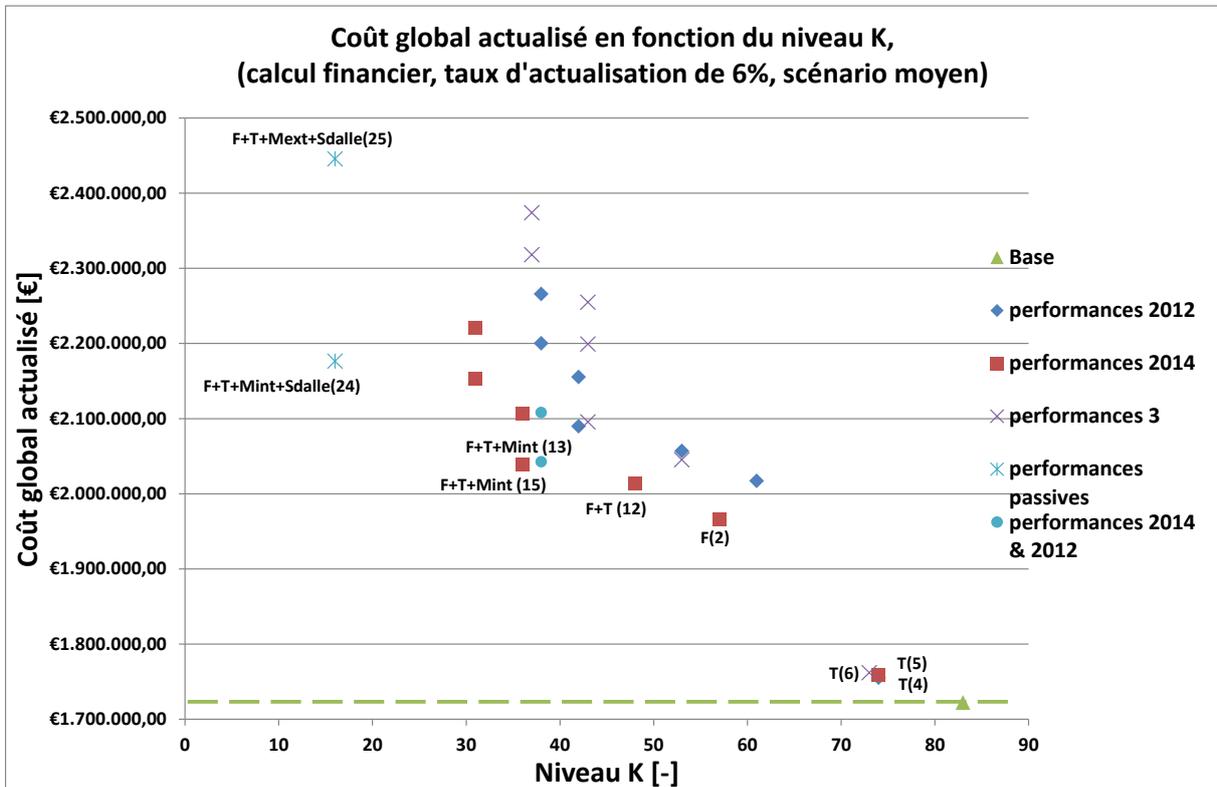


Figure 49 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d’actualisation de 6%, scénario moyen de l’évolution du coût de l’énergie

scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

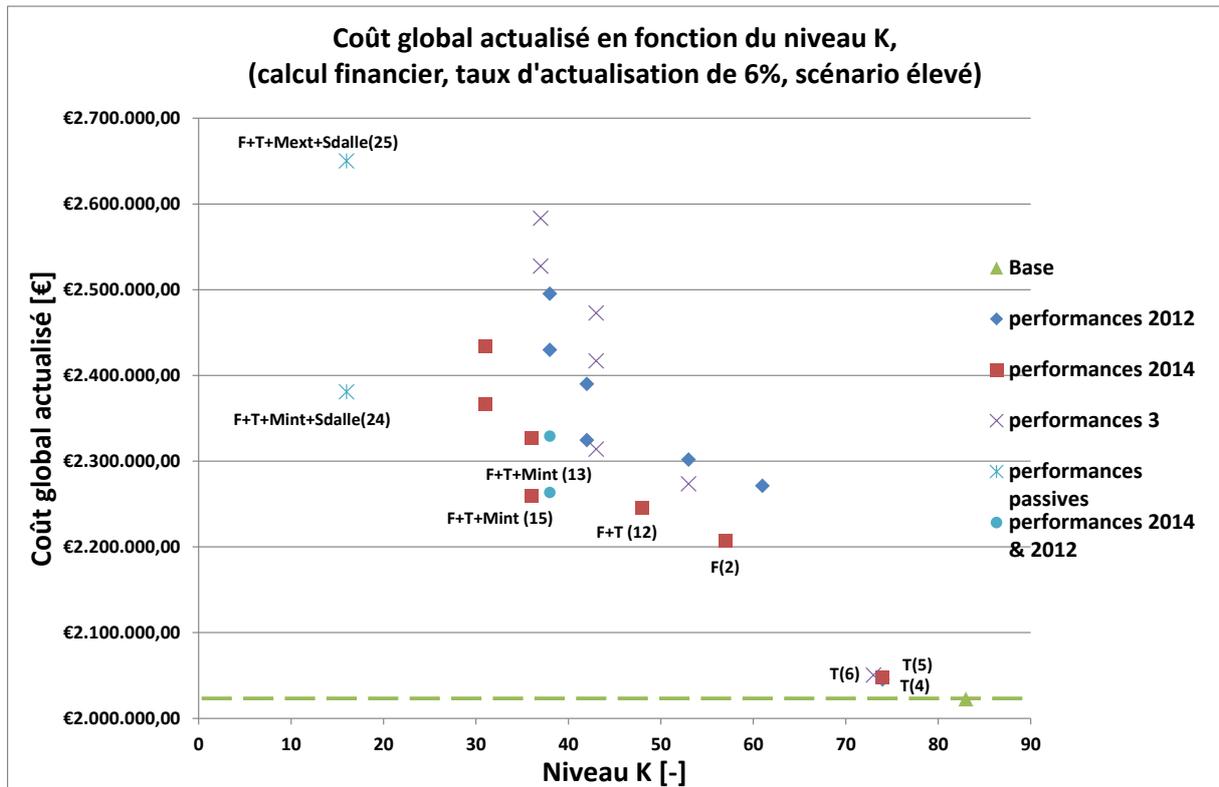


Figure 50 – Petit bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d'actualisation de 6%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie

E) GBE 2 – Calcul macro-économique – Taux d'actualisation 4 % - différents scénarii d'évolution des prix de l'énergie

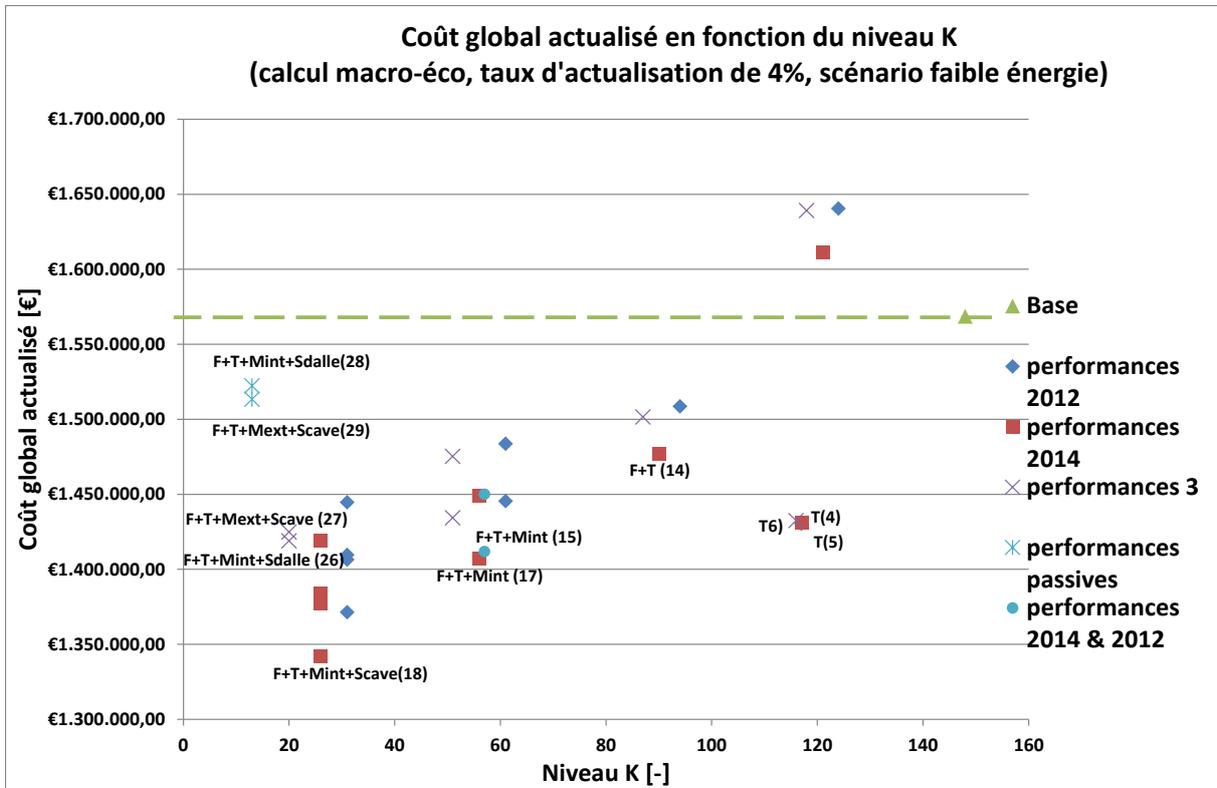


Figure 51 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie

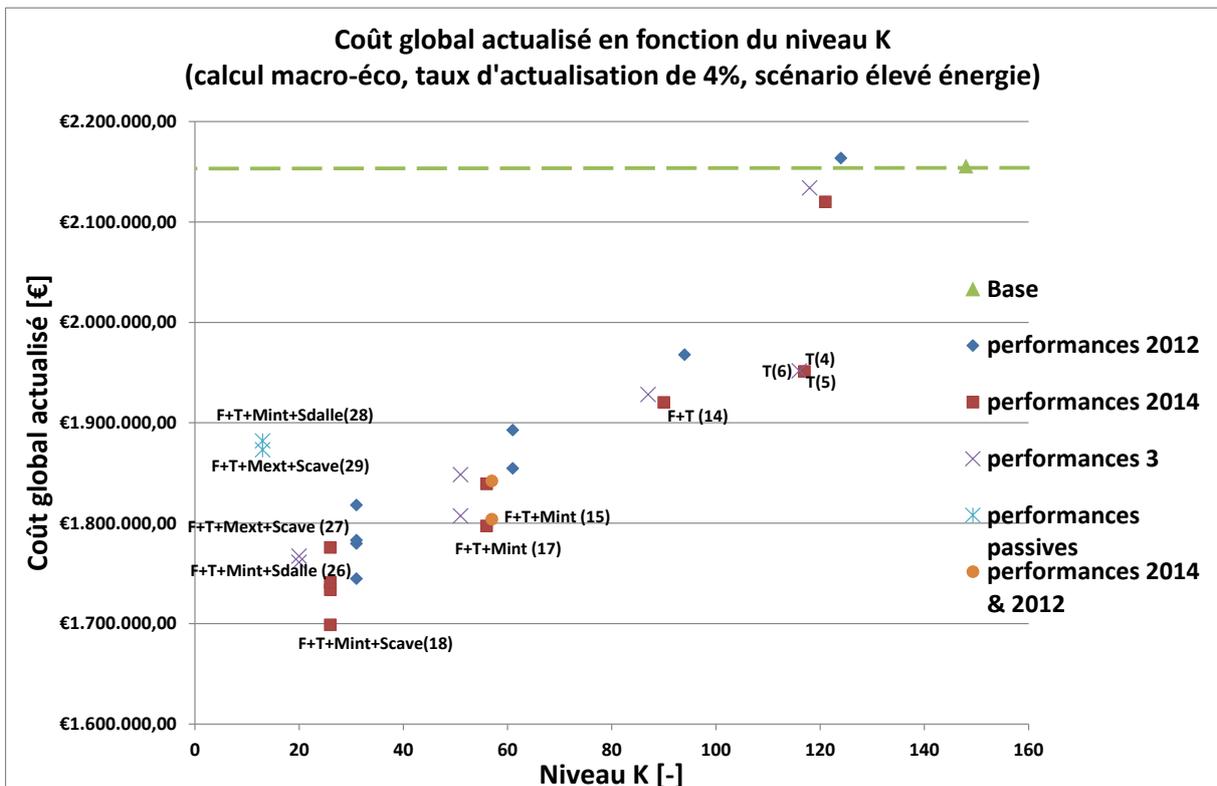


Figure 52 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de

4%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie

F) GBE 2 – Calcul macro-économique – Taux d'actualisation 4 % - différents scénarii d'évolution des prix de l'énergie (U fenêtres)

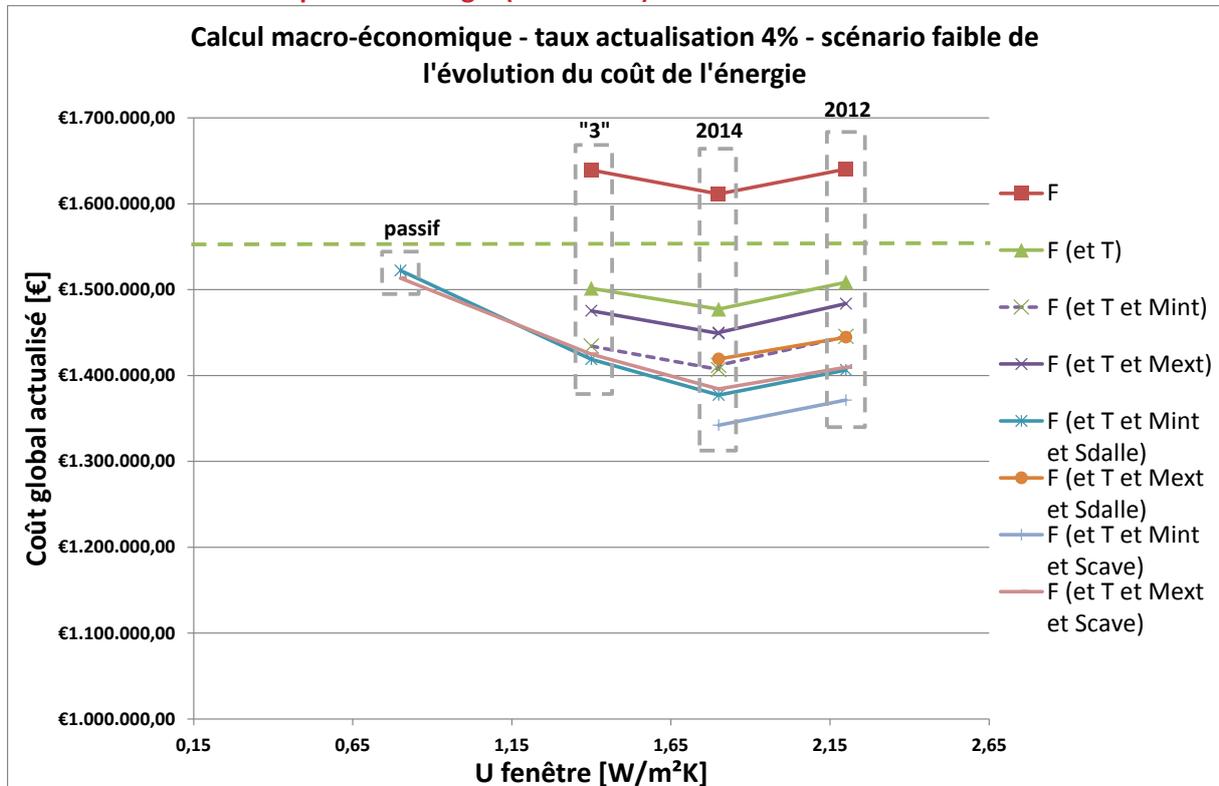


Figure 53 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie (U fenêtres)

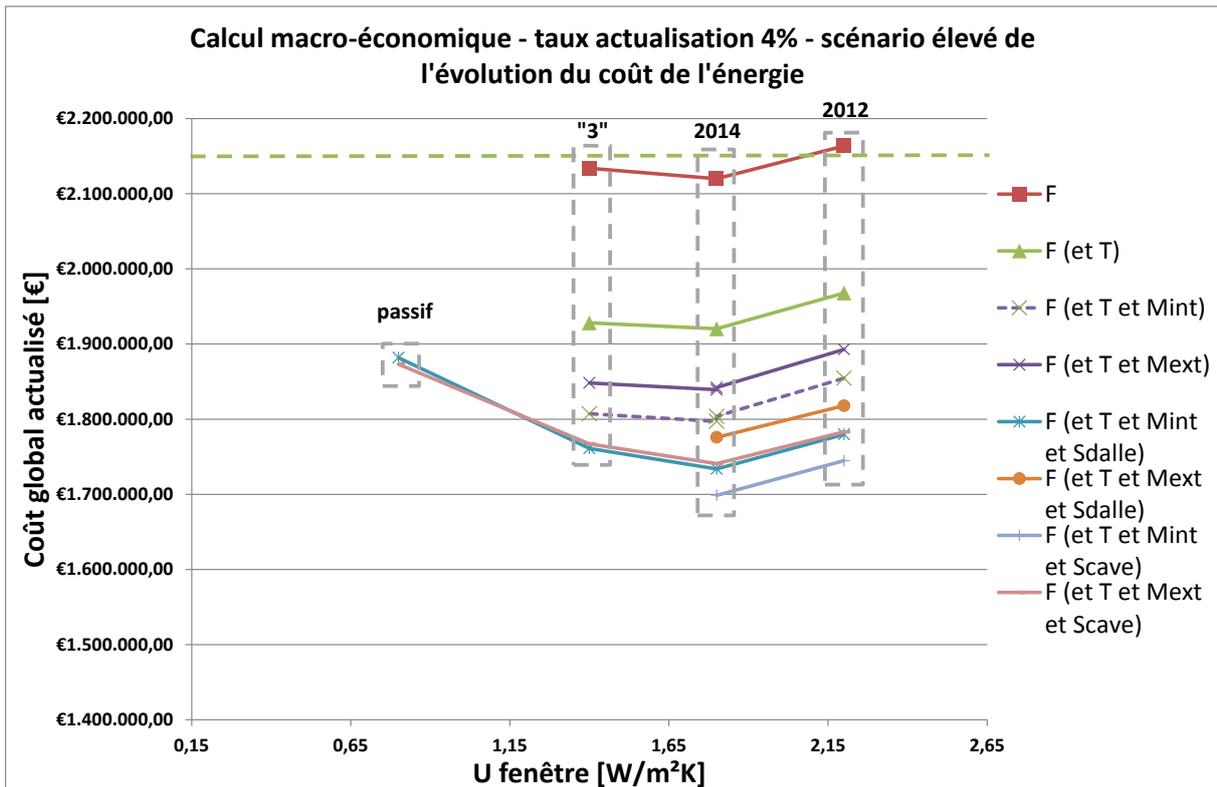


Figure 54 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie (U fenêtres)

G) GBE 2 – Calcul macro-économique – Taux d'actualisation 3% - différents scénarii d'évolution des prix de l'énergie

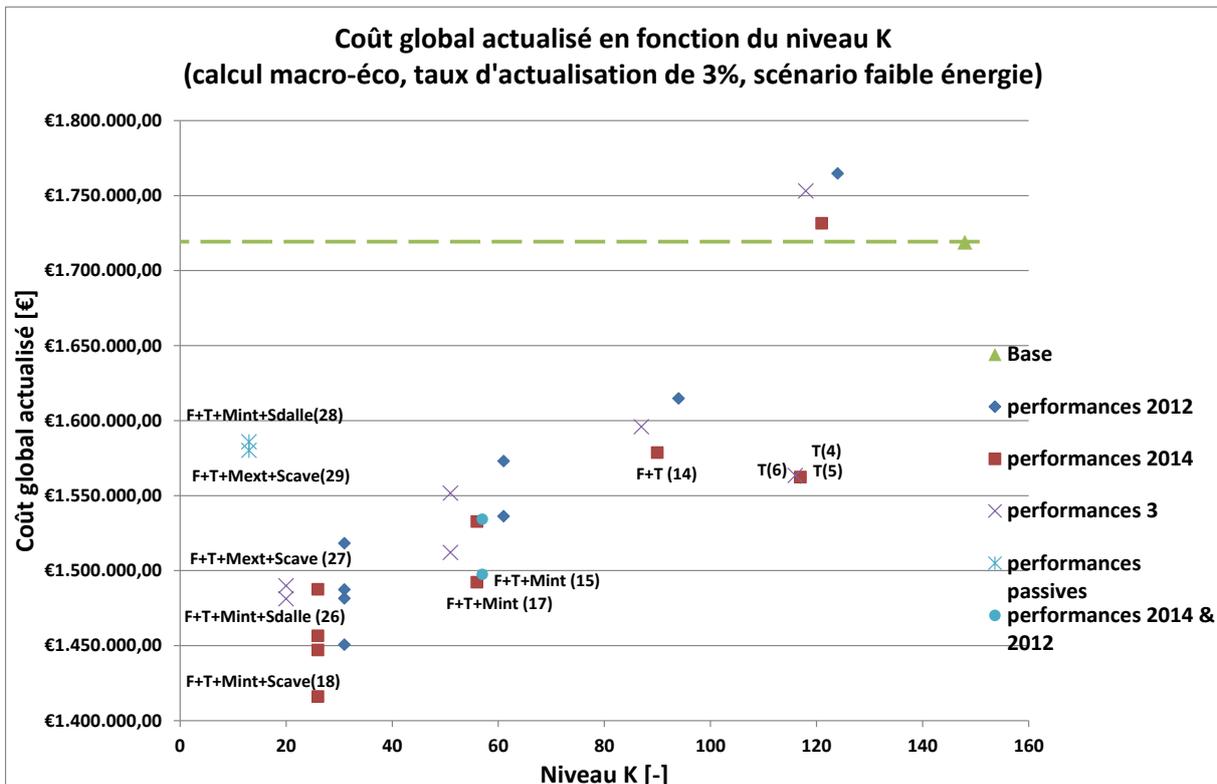


Figure 55 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de

3%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie

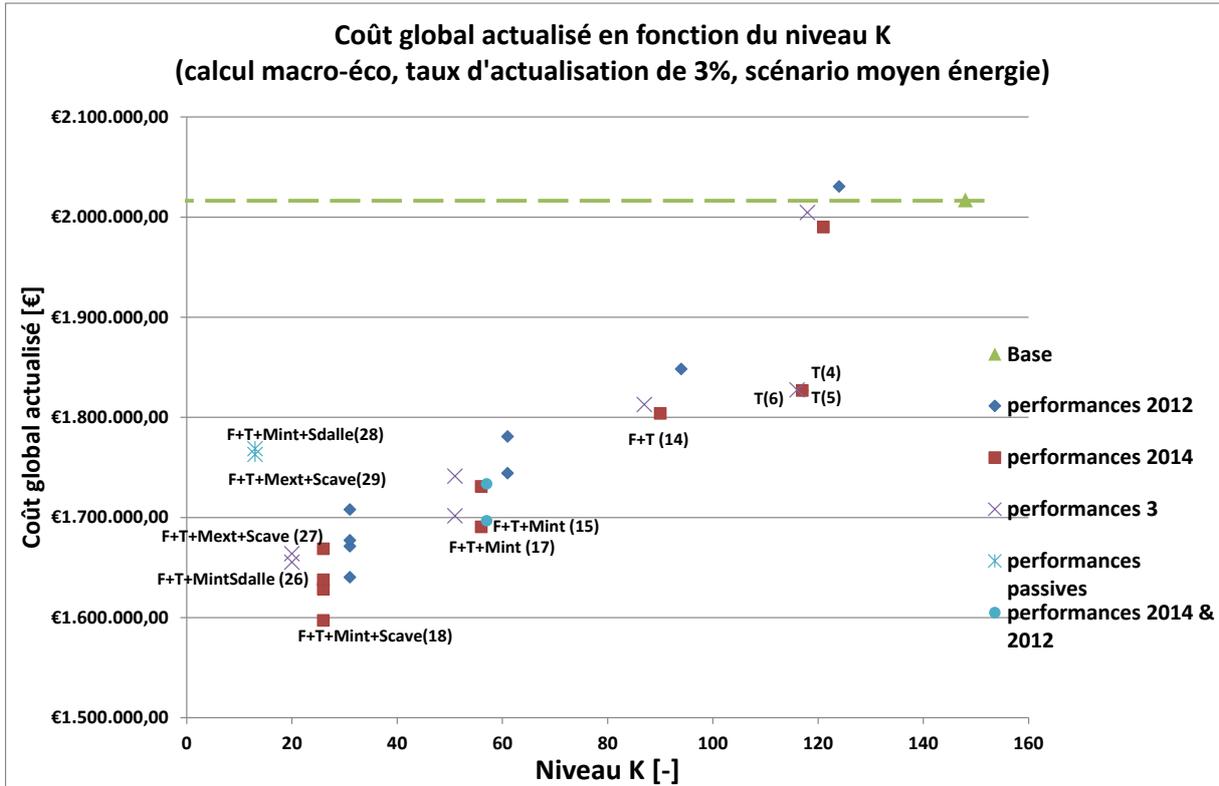


Figure 56 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 3%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

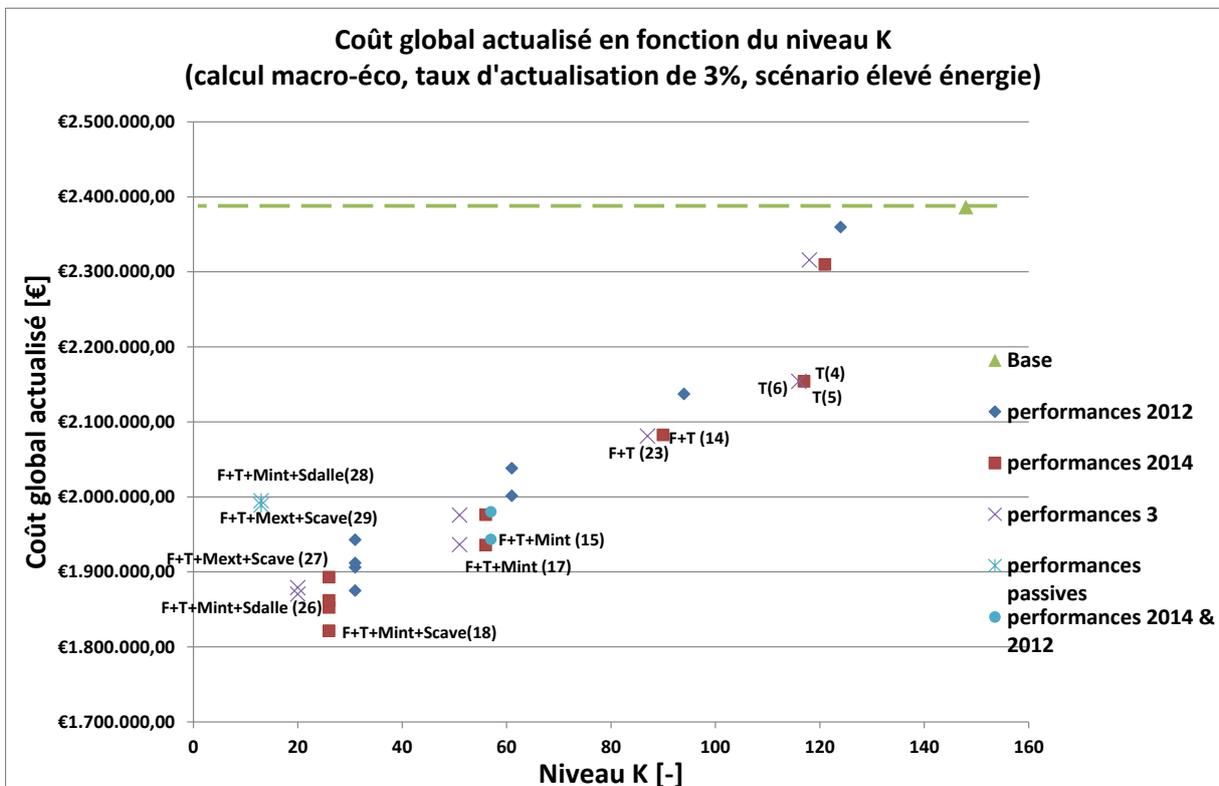


Figure 57 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 3%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie

H) GBE 2 – Calcul financier – Taux d’actualisation 4% - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie

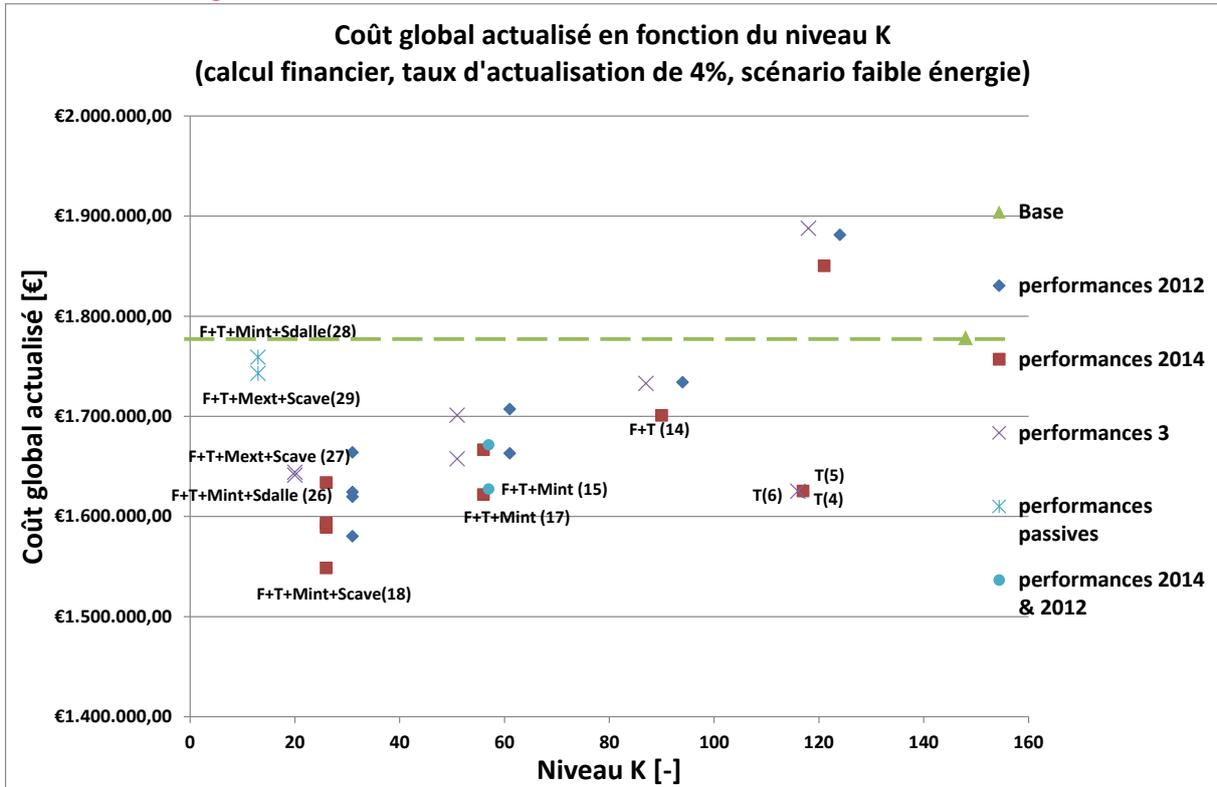


Figure 58 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d’actualisation de 4%, scénario faible de l’évolution du coût de l’énergie

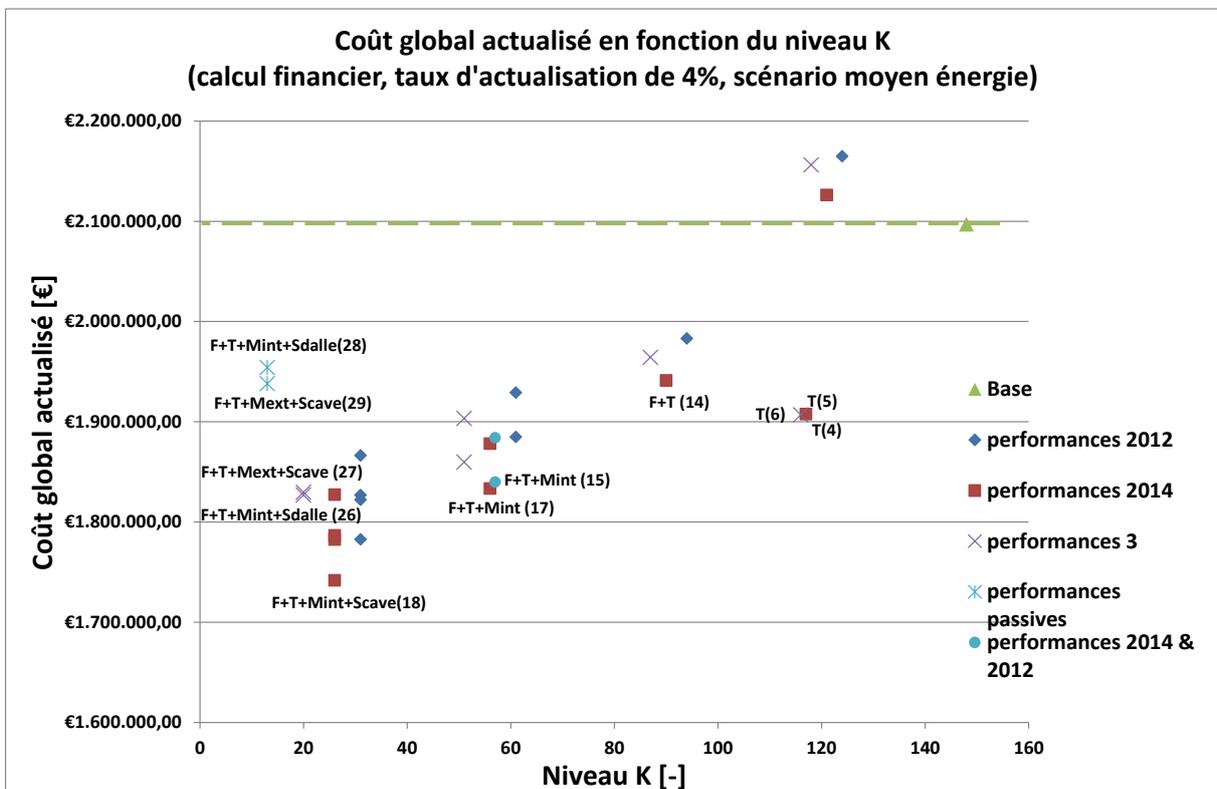


Figure 59 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d’actualisation de 4%, scénario moyen de l’évolution du coût de l’énergie

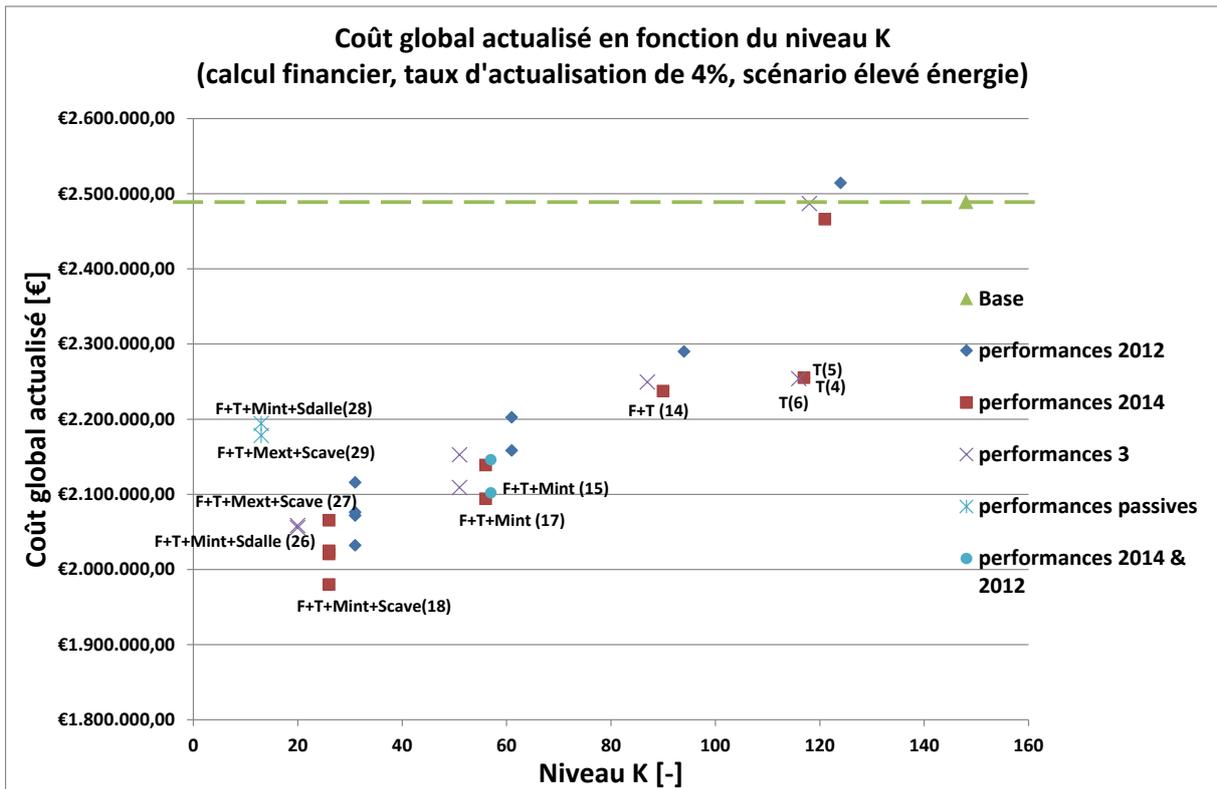


Figure 60 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d’actualisation de 4%, scénario élevé de l’évolution du coût de l’énergie

I) GBE 2 – Calcul financier – Taux d’actualisation 6% - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie

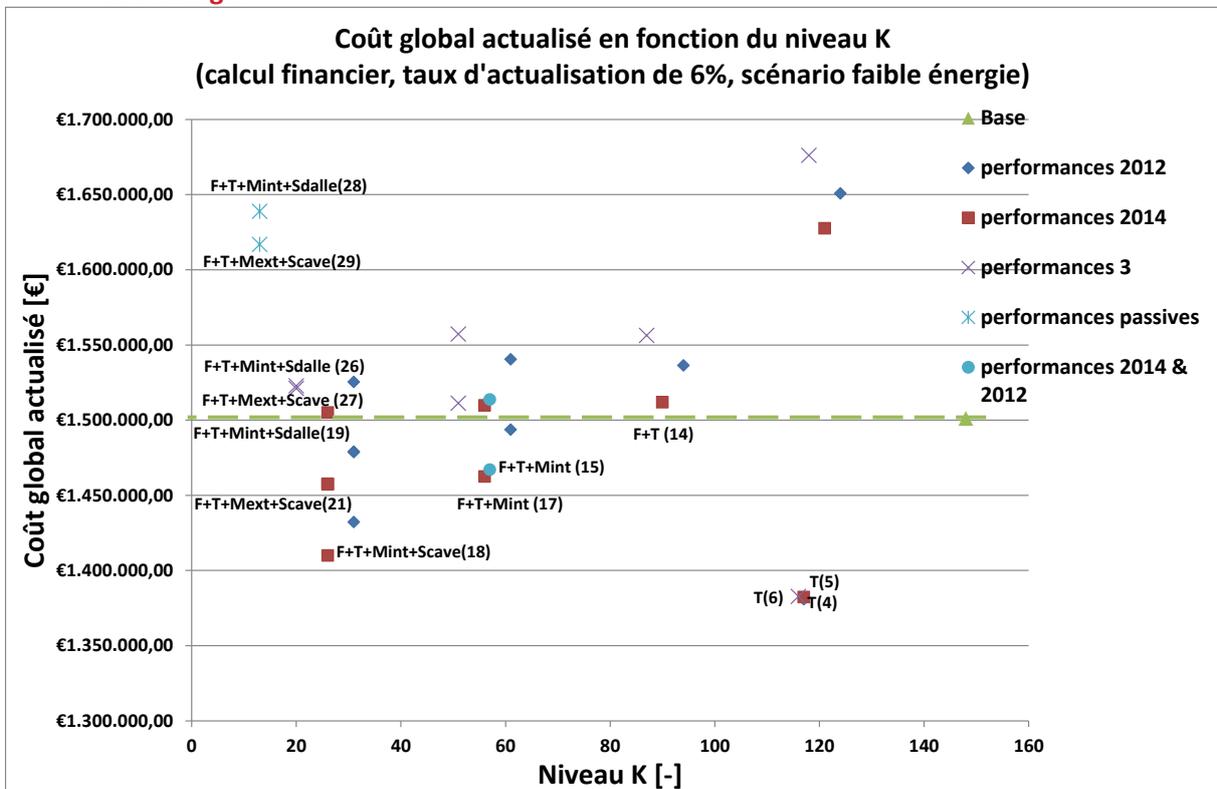


Figure 61 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d’actualisation de 6%, scénario faible de l’évolution du coût de l’énergie

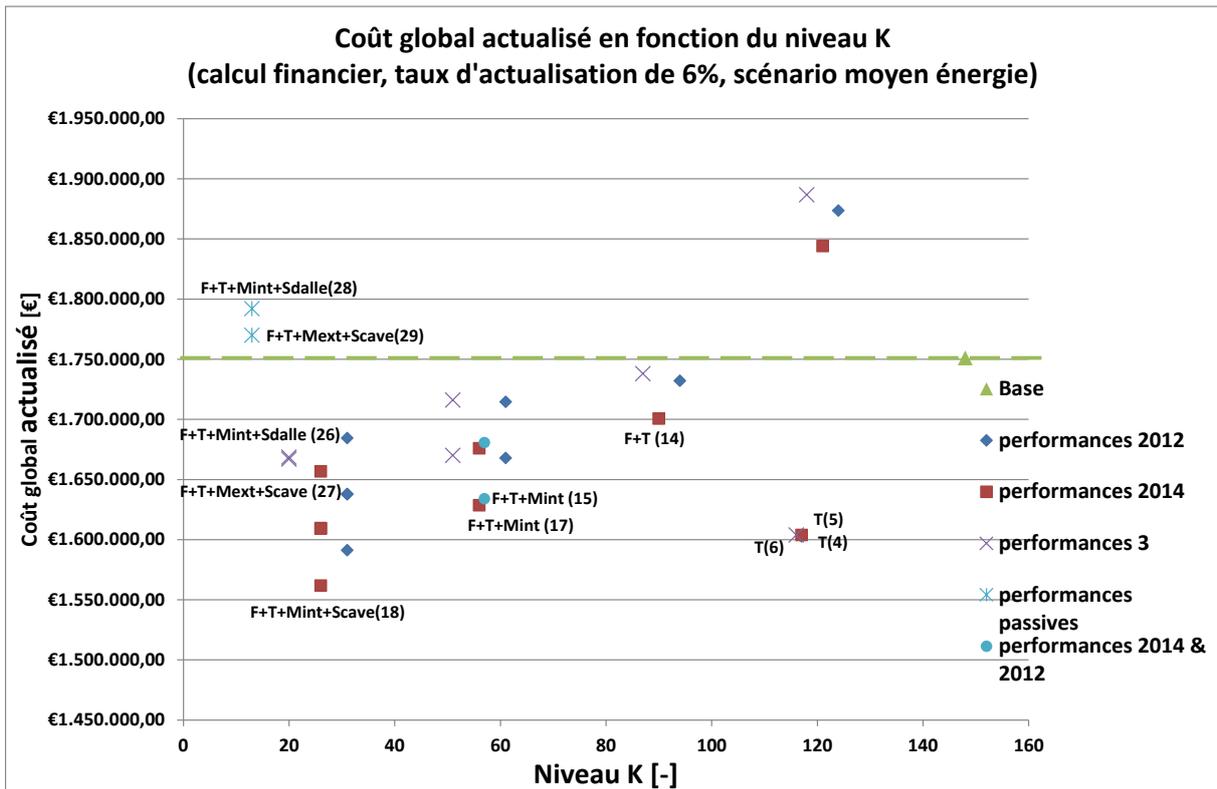


Figure 62 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d'actualisation de 6%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

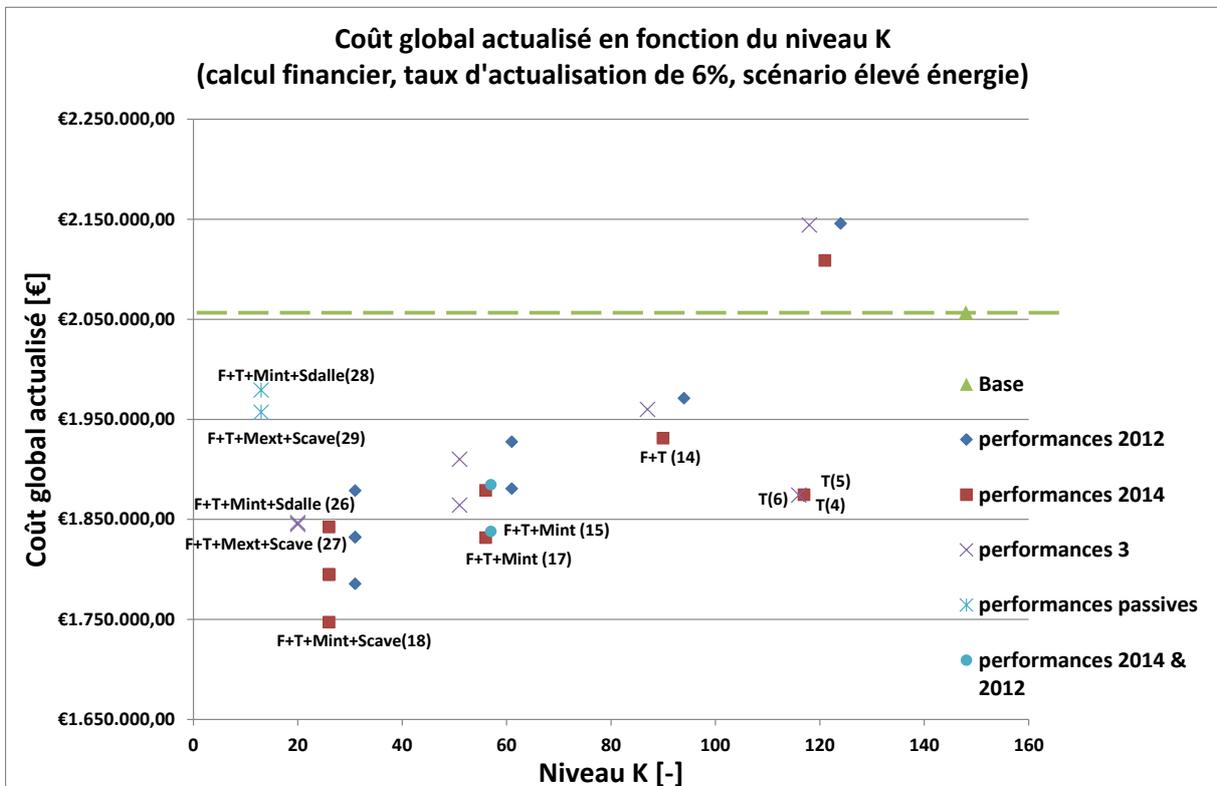


Figure 63 – Grand bâtiment de bureaux existant : coût global actualisé, calcul financier, taux d'actualisation de 6%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie

J) NB – évaluation du confort estival

Mesures												
2	O3	F3	T3	S3	IM	E3	Prés	CC	N.A.	RC	NoF	/
3	Opas	F3	Tpas	Spas	IM	E2	Prés	CC	N.A.	RC	NoF	/
7	O3	F3	T3	S3	IM	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	/
8	Opas	F3	Tpas	Spas	IM	E2	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	/
12	O3	F3	T3	S3	EM	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	/
14	Opas	F3	Tpas	Spas	EM	E2	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	/
18	O3	F3	T3	S3	EM	E3	Dim	PAE	N.A.	RC	NoF	/
19	Opas	F3	Tpas	Spas	EM	E2	Dim	PAE	N.A.	RC	NoF	/
23	O3	F3	T3	S3	EM	E3	Dim	PSE	N.A.	RC	NoF	/
24	Opas	F3	Tpas	Spas	EM	E2	Dim	PSE	N.A.	RC	NoF	/
33	O3	F3	T3	S3	EM	E3	Dim	BIOM	N.A.	RC	NoF	/
34	Opas	F3	Tpas	Spas	EM	E2	Dim	BIOM	N.A.	RC	NoF	/
38	O3	F3	T3	S3	EM	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV30
39	Opas	F3	Tpas	Spas	EM	E2	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV30
43	O3	F3	T3	S3	EM	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV50
44	Opas	F3	Tpas	Spas	EM	E2	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV50
48	O3	F3	T3	S3	EA	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV30
49	Opas	F3	Tpas	Spas	EA	E2	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV30
53	O3	F3	T3	S3	EA	E3	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV50
54	Opas	F3	Tpas	Spas	EA	E2	Dim	CC	N.A.	RC	NoF	PV50
60	Opas	Fpas	Tpas	Spas	EA	E2	Dim	PAE	N.A.	RC	NoF	PV50
61	Opas	Fpas	Tpas	Spas	EA	E2	Dim	PSE	N.A.	RC	NoF	PV50
63	Opas	Fpas	Tpas	Spas	EA	E2	Dim	BIOM	N.A.	RC	NoF	PV50

volume 5503,13 m³

Mesures	Conso finale froid (kWh)	BNE froid (kWh)	BNE froid (kWh/m ³ .an)
2	5555,102222	27775,51111	25,2
3	6129,195556	30645,97778	27,8
7	5056,428889	25282,14444	23,0
8	5287,048889	26435,24444	24,0
12	4729,916667	23649,58333	21,5
14	4791,226667	23956,13333	21,8
18	4729,916667	23649,58333	21,5
19	4791,226667	23956,13333	21,8
23	4729,916667	23649,58333	21,5
24	4791,226667	23956,13333	21,8
33	4578,204444	22891,02222	20,8
34	4791,226667	23956,13333	21,8
38	4578,204444	22891,02222	20,8
39	4791,226667	23956,13333	21,8
43	4578,204444	22891,02222	20,8
44	4791,226667	23956,13333	21,8
48	4344,998889	21724,99444	19,7
49	4549,192222	22745,96111	20,7
53	4344,998889	21724,99444	19,7
54	4549,192222	22745,96111	20,7
60	6505,174444	32525,87222	29,6
61	6505,174444	32525,87222	29,6
63	6060,73	30303,65	27,5

K) NB – Calcul macro-économique – Taux d'actualisation 4% - différents scénarii d'évolution des prix de l'énergie

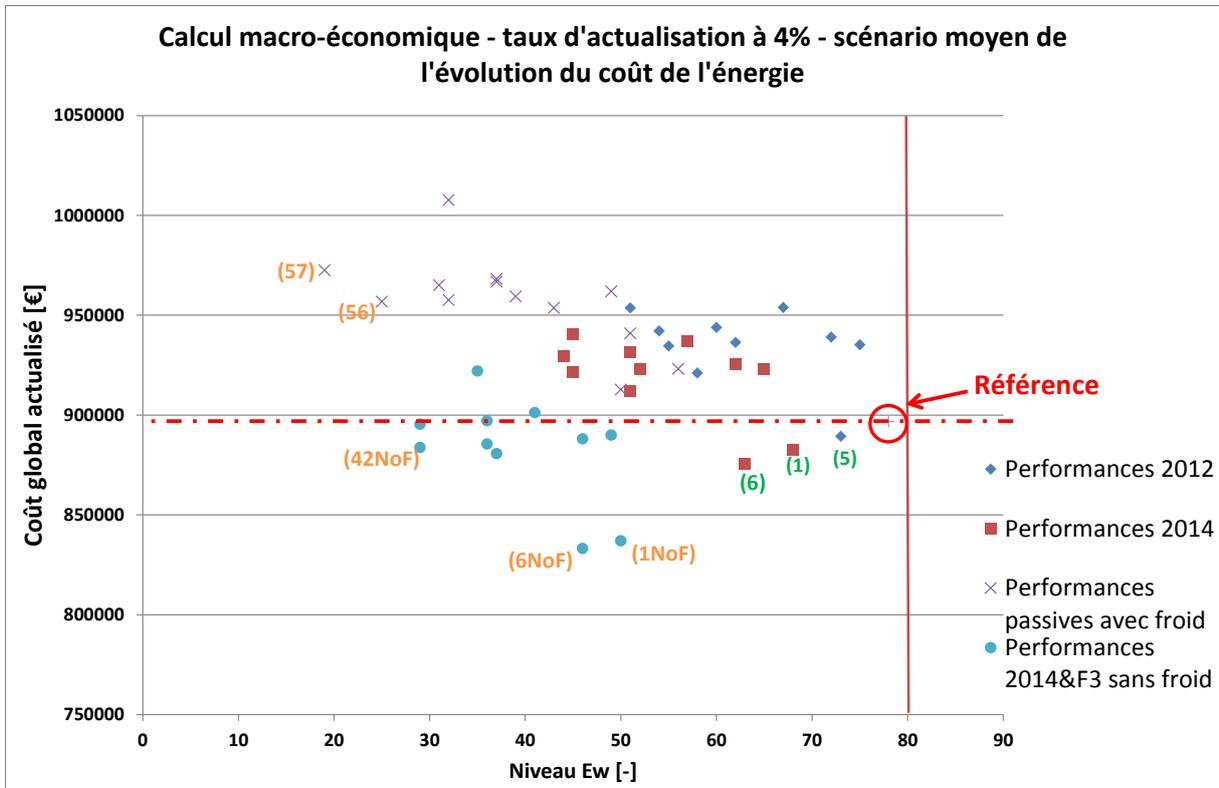


Figure 64 – Nouveau bâtiment de bureaux : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

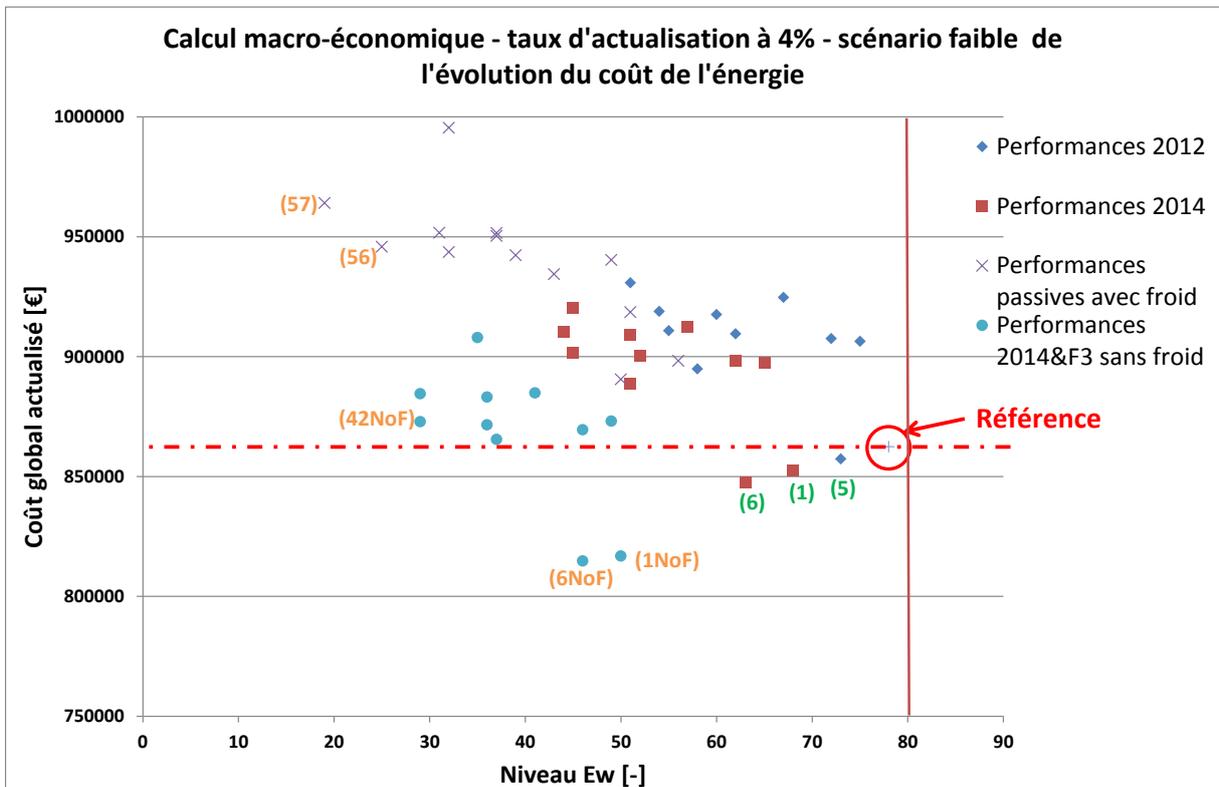


Figure 65 – Nouveau bâtiment de bureaux : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie

scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie

L) NB – Calcul macro-économique – Taux d'actualisation 3% - différents scénarii d'évolution des prix de l'énergie

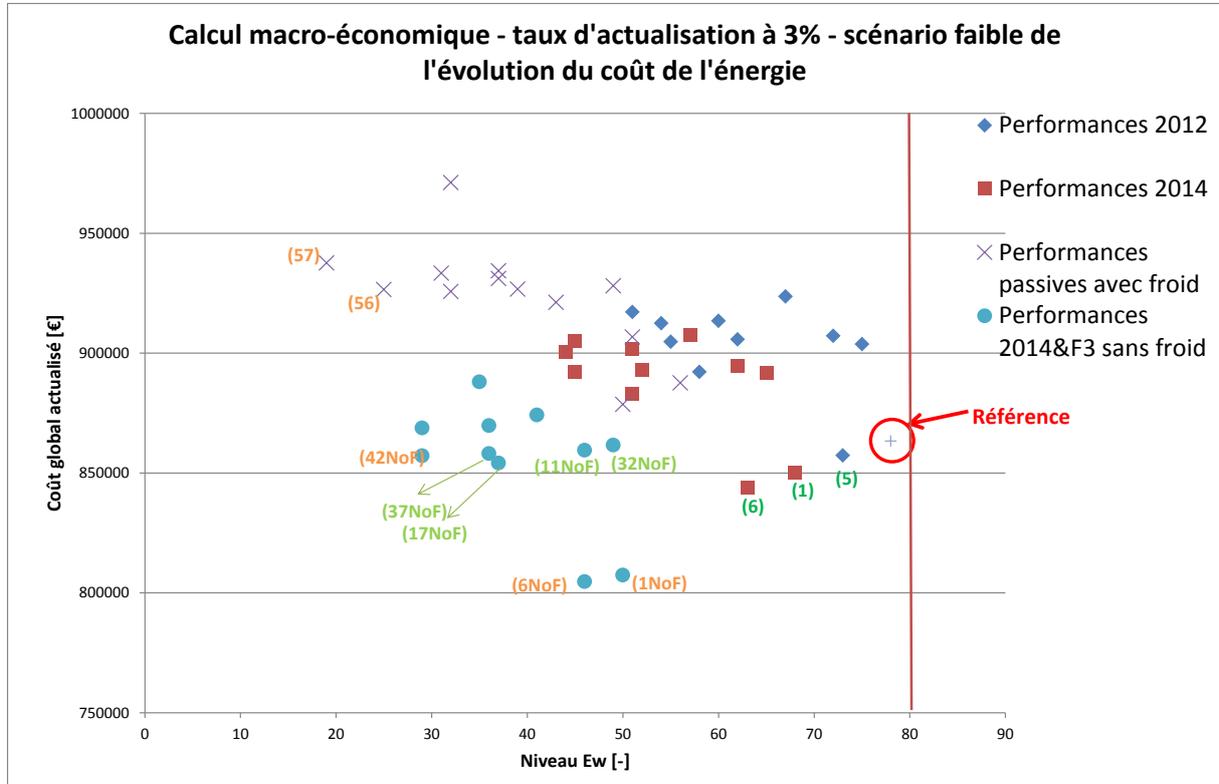


Figure 66 – Nouveau bâtiment de bureaux : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 3%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie

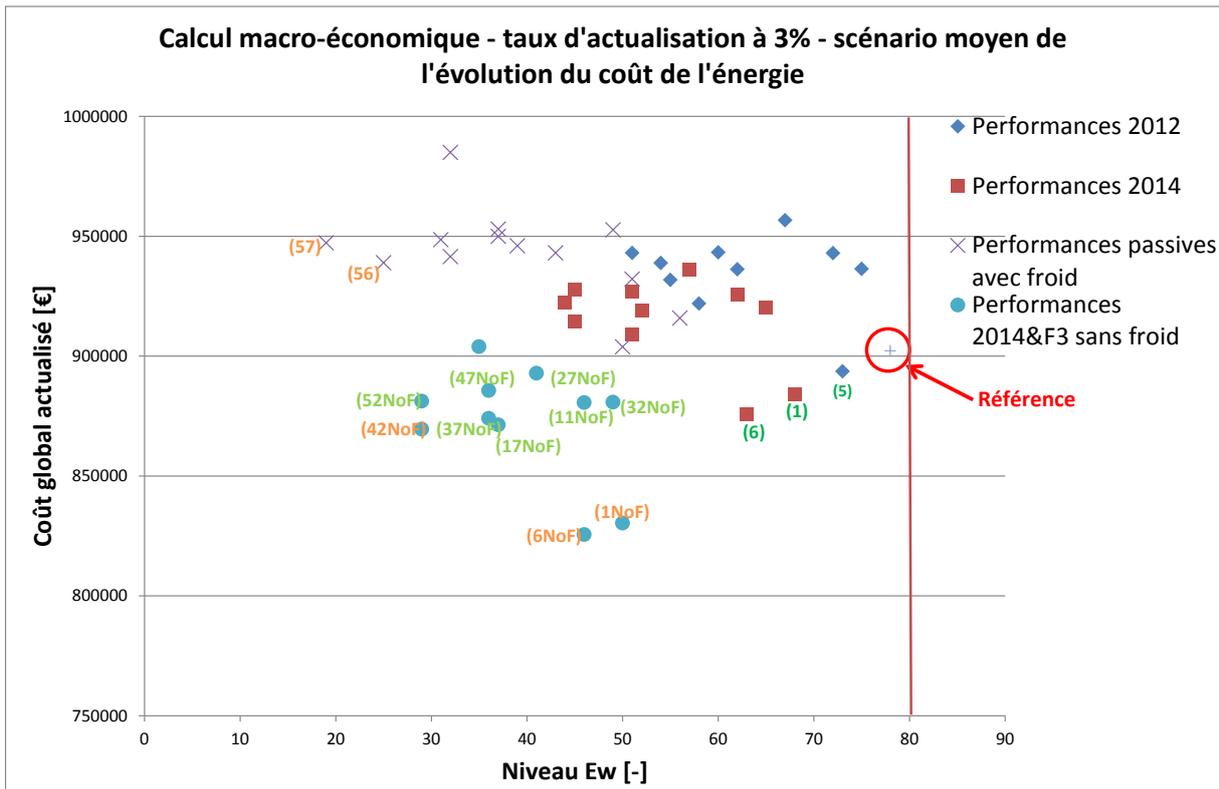


Figure 67 – Nouveau bâtiment de bureaux : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 3%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie

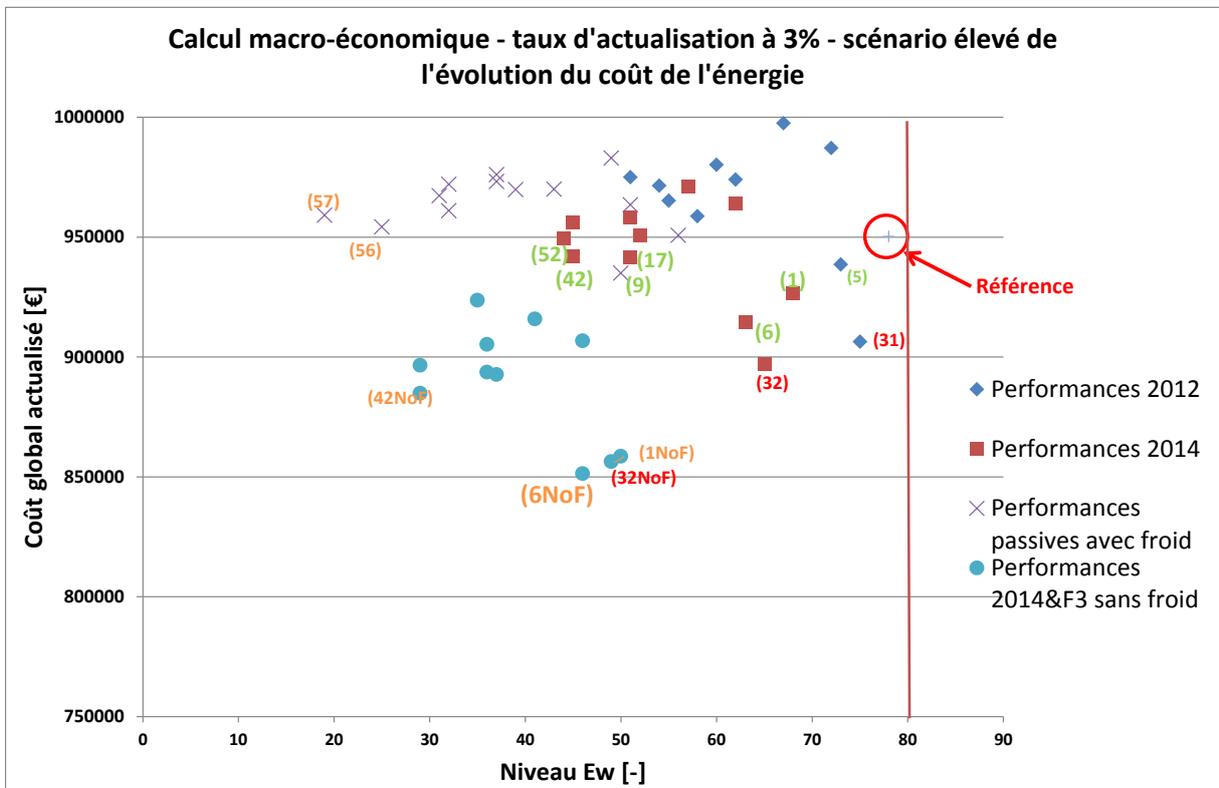


Figure 68 – Nouveau bâtiment de bureaux : coût global actualisé, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 3%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie

M) NB – Calcul financier – Taux d’actualisation 4% - différents scénarii d’évolution des prix de l’énergie

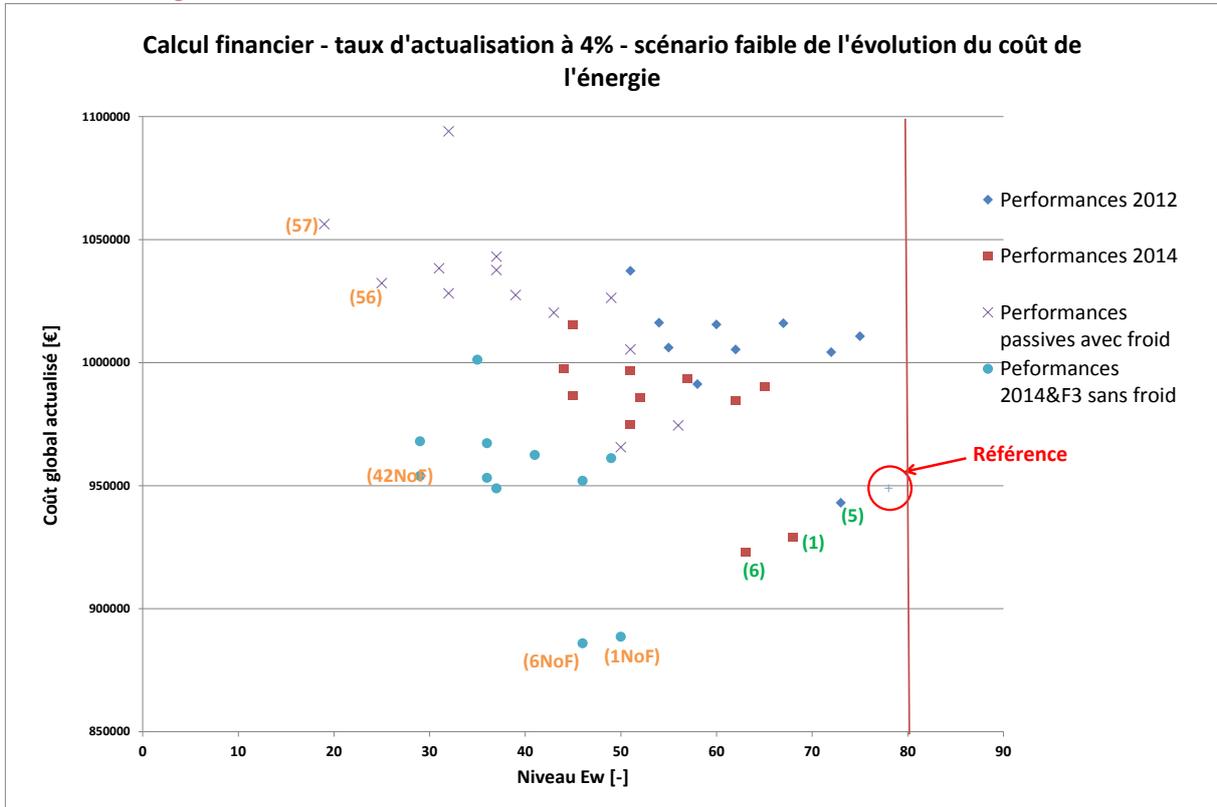


Figure 69 – Nouveau bâtiment de bureaux : coût global actualisé, calcul financier, taux d’actualisation de 4%, scénario faible de l’évolution du coût de l’énergie

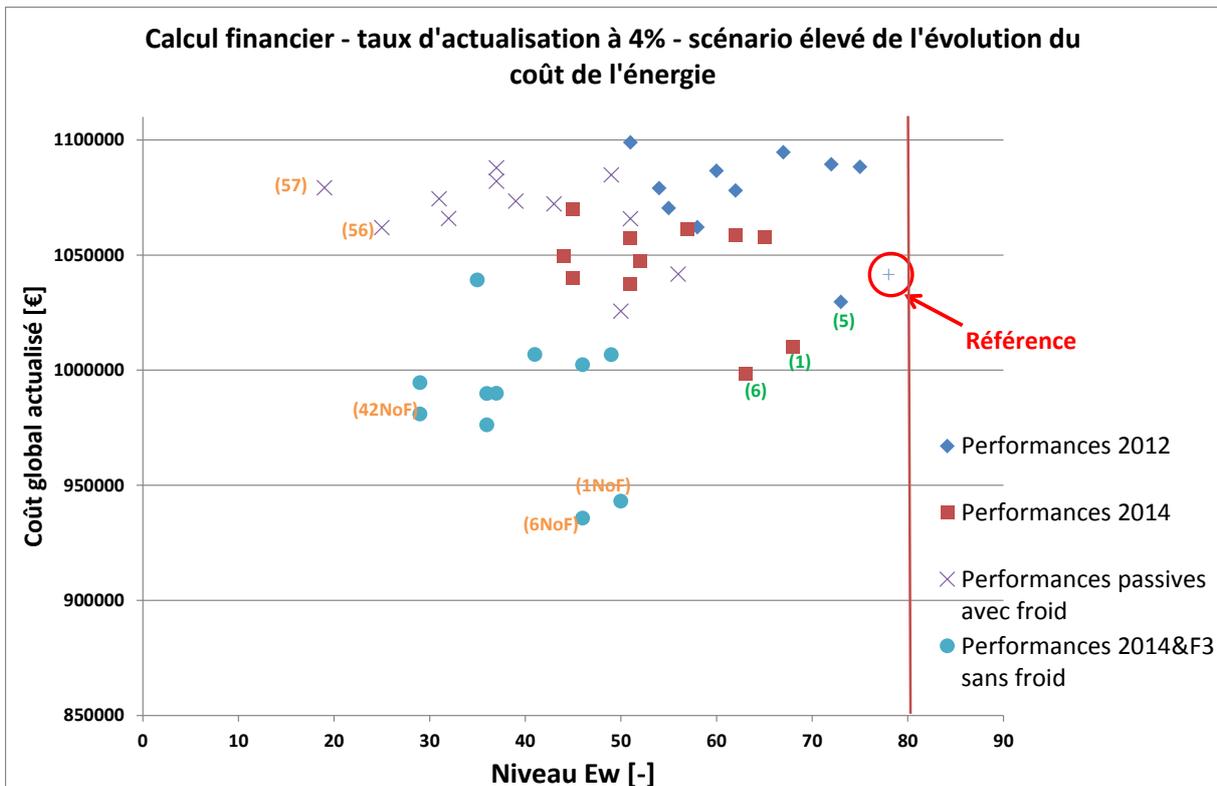


Figure 70 – Nouveau bâtiment de bureaux : coût global actualisé, calcul financier, taux d’actualisation de 4%, scénario élevé de l’évolution du coût de l’énergie

élevé de l'évolution du coût de l'énergie

N) NB – Calcul financier – Taux d'actualisation 6% - différents scénarii d'évolution des prix de l'énergie

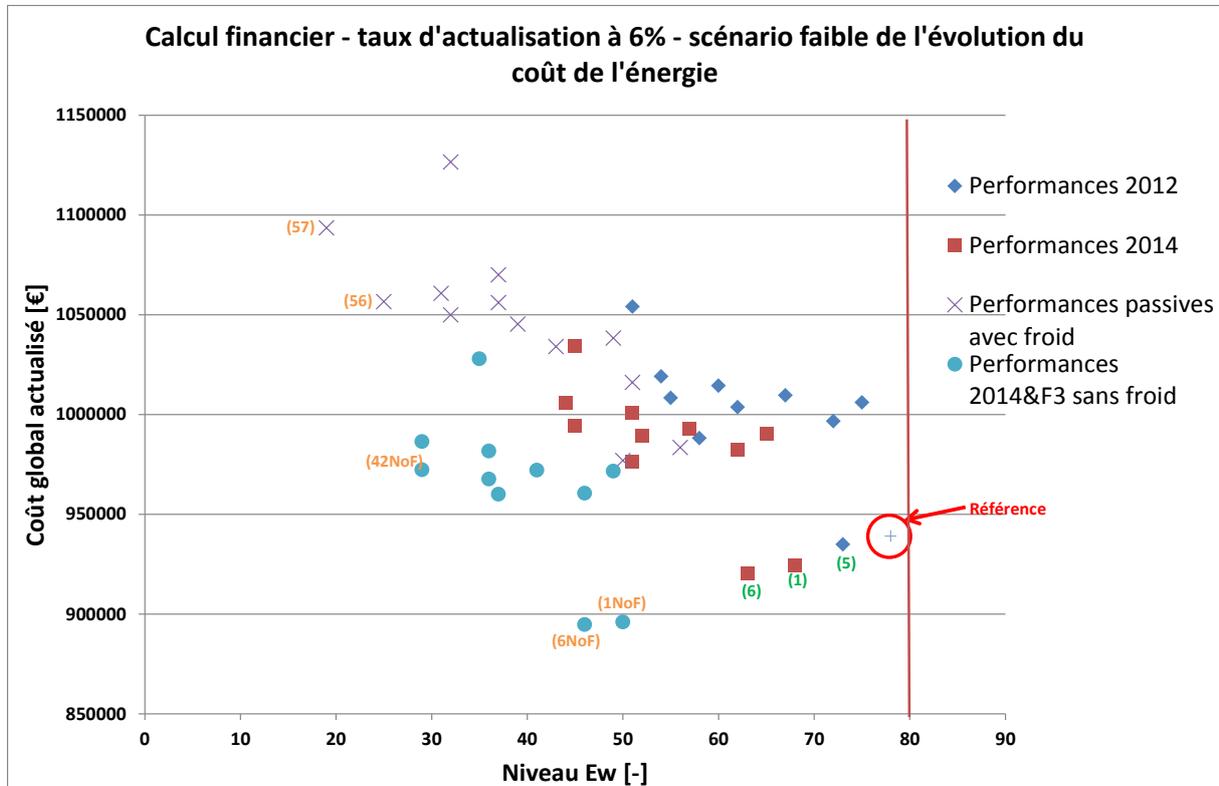


Figure 71 – Nouveau bâtiment de bureaux : coût global actualisé, calcul financier, taux d'actualisation de 6%, scénario faible de l'évolution du coût de l'énergie

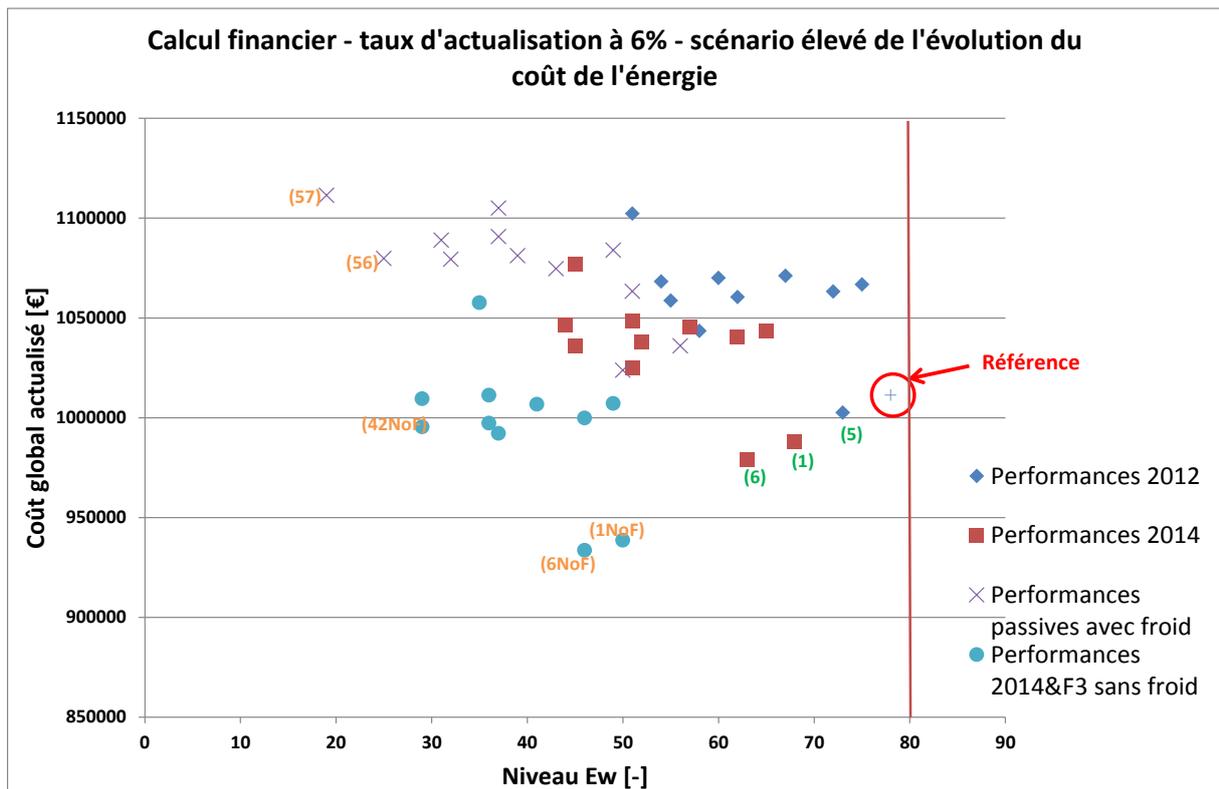


Figure 72 – Nouveau bâtiment de bureaux : coût global actualisé, calcul financier, taux d'actualisation de 6%, scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie

CO-ZEB

RAPPORT FINAL DU PROJET
(8) CONCLUSION

JUIN 2013

*Pour le compte du
Département de l'Énergie et du Bâtiment durable
SPW-DGO4*



Sommaire

Objectif de l'étude	3
Les étapes du projet	3
Conclusions par type de bâtiments	5
1. Bâtiments existants	5
Résidentiel	5
Bureaux/services	8
Ecoles	10
2. Bâtiments neufs	13
Résidentiel	13
Bureaux/services	15
Ecoles	16
Conclusion générale de l'étude COZEB	19
Annexe : Positionnement du NZEB par rapport à l'optimum de coût	21

Objectif de l'étude

L'objectif de l'étude CO-ZEB consiste à vérifier que les exigences - actuelles ou projetées - de performance énergétique des bâtiments d'enseignement, de bureaux ou de logements, en Région Wallonne, ne sont pas inférieures de plus de 15% au niveau de performance énergétique optimal calculé en fonction du coût global actualisé d'une série de (combinaisons de) mesures d'amélioration de la performance de ces bâtiments.

Cette partie du rapport final synthétise les conclusions pour tous les types de bâtiments étudiés et permet de vérifier si les exigences PEB fixées en Région Wallonne correspondent ou non à un optimum économique (selon le scénario envisagé) et, le cas échéant à justifier l'écart.

Le comité d'accompagnement du projet CO-ZEB en Région Wallonne a décidé de retenir les hypothèses suivantes pour l'analyse du coût optimum :

- **calcul macro-économique du CGA**
- **taux d'actualisation de 4%**
- **scénario d'évolution moyen du prix de l'énergie (+1.75% par an, hors inflation)**

D'autre part, l'étude consistait également à caractériser un bâtiment neuf à consommation d'énergie quasi-nulle (NZEB) selon l'affectation (logement, bureaux, école)¹. Le positionnement des bâtiments NZEB par rapport aux solutions présentant un optimum en terme de coût global actualisé est présenté en annexe.

Les étapes du projet

L'étude COZEB a été réalisée en plusieurs étapes, chacune faisant l'objet d'un rapport détaillé présentant systématiquement les hypothèses retenues, les résultats obtenus et les décisions prises. Le rapport global fait près de 500 pages.

Les rapports qui sous-tendent nos conclusions concernaient:

- Le choix des bâtiments de référence et des mesures-groupes-variantes
- La détermination des coûts d'investissements initiaux et du coût des différentes mesures d'amélioration
- La génération de graphiques et tableaux de résultats pour chaque type de bâtiment, selon deux modes de calcul et plusieurs scénarii d'évolution du prix de l'énergie de même que différents taux d'actualisation

Minimum un bâtiment de référence neuf et deux bâtiments de référence existants ont été définis pour chaque affectation.

Les catégories de bâtiments de référence sont les suivantes:

- **résidentiel unifamilial**
- **résidentiel immeubles d'appartements**
- **non résidentiel immeubles de bureaux/services**
- **non résidentiel bâtiments d'enseignement**

¹ Voir rapport COZEB de définition du NZEB, janvier 2013

Les Tableaux 1 et 2 illustrent l'ensemble des bâtiments de référence choisis.

Pour chaque bâtiment de référence, une série de mesures-groupe-variantes a été déterminée. Pour chacune de ces variantes, le coût global actualisé a été calculé, compte tenu d'un ensemble d'hypothèses. En comparant le CGA de chacune des variantes, un niveau de performance énergétique optimum a pu être déterminé pour chacun des bâtiments analysés.

Tous les coûts d'investissements initiaux relatifs à l'isolation des parois et/ou à la mise en œuvre de systèmes HVAC sont repris et détaillés dans le rapport (4). Les coûts de l'énergie retenus et les scénarii d'évolution sont également présentés.

Les consommations en énergie finale nécessaires au calcul du coût de l'énergie sur la période d'évaluation du bâtiment sont issues du logiciel PEB 3.5.2.

Ces consommations sont donc calculées selon la méthode PEB établie en Wallonie. Les hypothèses de simulation définies pour chaque type de bâtiment et pour chaque variante dans le logiciel PEB sont explicitées dans les rapports « bâtiments de référence ».

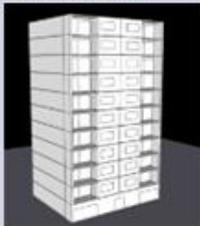
HABITATION UNIFAMILIALE		IMMEUBLE D'APPARTEMENTS	
EXISTANT	NEUF	EXISTANT	NEUF
Maison urbaine mitoyenne Début du XXe siècle 	Maison 4 façades construction traditionnelle 	Maison début du XXe siècle divisé en plusieurs logements 	Immeuble d'appartements 
Maison 4 façades lotissement Années 1970-1980 	Maison mitoyenne Ossature bois 	Immeuble type « Etrimmo » Années 1960-1970 	

Tableau 1 : bâtiments de référence pour le résidentiel

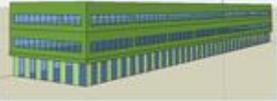
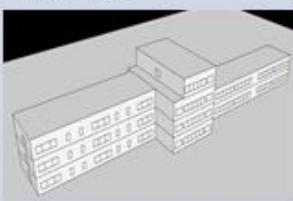
IMMEUBLE DE BUREAUX		BATIMENT D'ENSEIGNEMENT	
EXISTANT	NEUF	EXISTANT	NEUF
Petit bureau – zone industrielle Années 1970 	Immeuble neuf de bureaux 	Petite école de campagne Début XXe siècle 	Ecole neuve 
Grand bureau mitoyen – agglomération Années 1945 		Ecole de type « athénée » campagne 	

Tableau 2 : bâtiments de référence pour les bureaux et pour les écoles

Conclusions par type de bâtiments

Bâtiments existants

Pour les bâtiments existants, seules les modifications liées à l'enveloppe du bâtiment furent analysées: placement de nouveaux vitrages, placement de nouveaux vitrages et remplacement des châssis par des châssis plus performants (remplacement des fenêtres complètes), isolation de la toiture, isolation des murs et/ou isolation du sol.

Le niveau de performance énergétique optimal est obtenu en calculant le coût global actualisé, représenté graphiquement en fonction du coefficient de transmission thermique (U exprimé en W/m^2K) d'un élément du bâti (fenêtre, toit, mur...).

Un tel exercice permet de justifier la pertinence des U de parois imposés actuellement ou projetés en 2014 et au-delà. Si l'optimum calculé en coût global est inférieur d'au moins 15% aux U imposés en 2012 ou aux évolutions projetées (U 2014,...), il faut justifier l'écart ainsi que les mesures prises ou à prendre pour le réduire, le cas échéant.

Résidentiel

Les figures Figure 1 Figure 2 représentent un bâtiment fictif issu d'une combinaison des bâtiments de référence résidentiels existants : deux maisons unifamiliales et deux immeubles à appartements.

La courbe verte pointillée qui apparaît sur chaque figure correspond au coût global actualisé du bâtiment de référence (appelé « base ») pour lequel aucune mesure d'amélioration n'est effectuée.

La Figure 1 illustre le coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre. Pour chacune des courbes, on peut observer un optimum :

- Si on remplace uniquement les fenêtres, l'optimum est « fenêtres 2014 »
- Si on remplace les fenêtres et qu'on isole le toit, l'optimum correspond aux niveaux de performance fixés en 2014

- Si on remplace les fenêtres, qu'on isole le toit et les murs, l'optimum se situe au niveau des exigences de performance de 2014
- Si on isole toute l'habitation, l'optimum est une isolation des parois extérieures de type 'passif', sans l'isolation des murs mitoyens

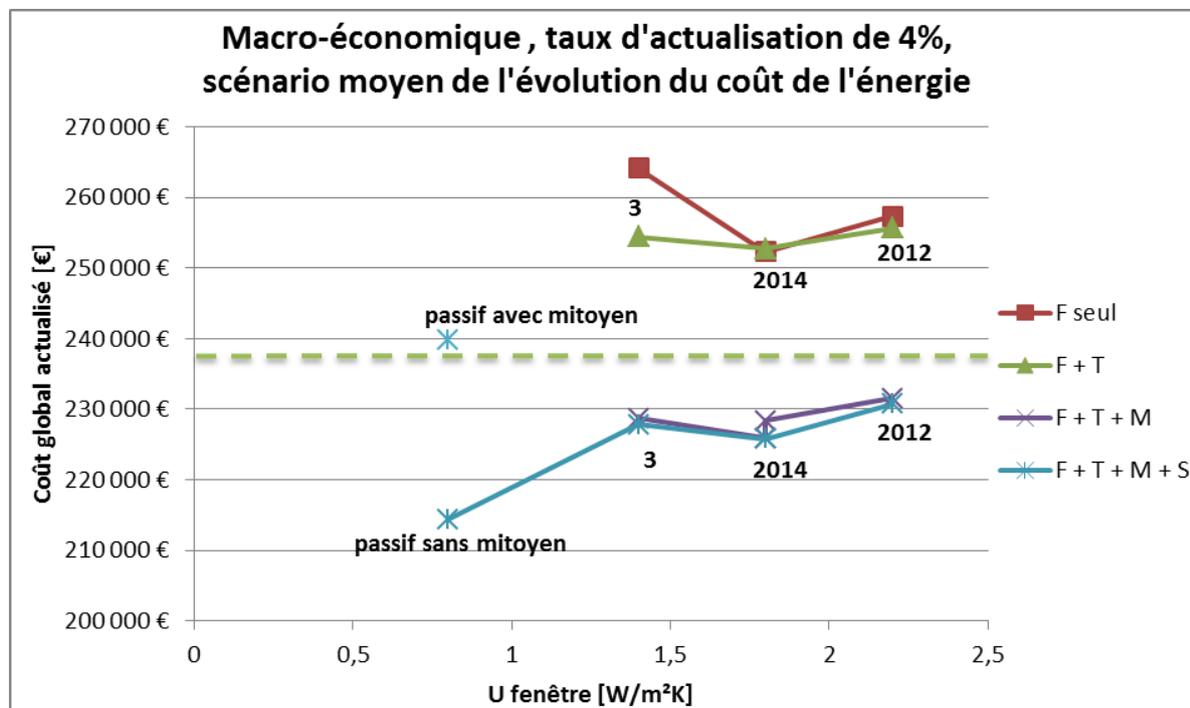


Figure 1 : coût global actualisé en fonction du U fenètre – résidentiel existant GLOBAL

La Figure 2 illustre le coût global actualisé en fonction du U de la toiture. On observe que :

- Si on isole uniquement le toit, il n'y a pas d'optimum, le coût global actualisé reste quasiment constant
- Si on remplace les fenêtres et qu'on isole le toit, l'optimum se situe au niveau des exigences de performance caractéristiques de 2014.
- Si on remplace les fenêtres, qu'on isole le toit et les murs, l'optimum se situe au niveau des exigences de performance caractéristiques de 2014.
- Si on isole toute l'habitation, l'optimum correspond à un niveau d'isolation des parois extérieures de type « passif », à l'exception des murs mitoyens, non isolés.

A noter : l'isolation des parois extérieures à un niveau typique de celui des maisons passives ne signifie pas que le bâtiment analysé satisfait au standard passif.

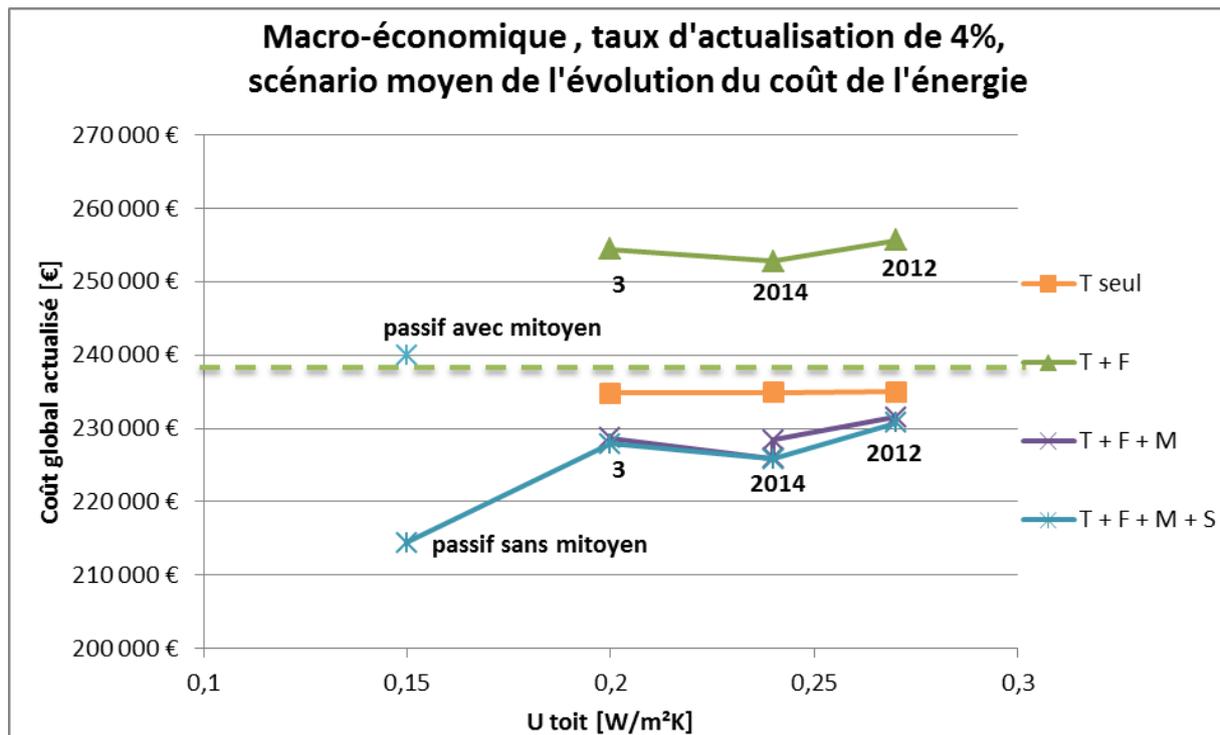


Figure 2 : coût global actualisé en fonction du U toit – résidentiel existant GLOBAL

Selon le mode de calcul (macro-économique) et les hypothèses retenues en matière d'actualisation et d'évolution du prix de l'énergie, l'écart entre une isolation complète de l'habitation conformément aux exigences caractéristiques de **2012** (voire de 2014) par rapport à l'optimum correspondant à l'isolation complète des parois extérieures (à l'exception donc des murs mitoyens) du bâtiment résidentiel de **type passif** est respectivement de 7% par rapport aux exigences de 2012 (et de 5% par rapport aux exigences de 2014).

Pour isoler de manière passive toutes les parois extérieures de l'habitation, l'investissement initial est très important.

Nous avons considéré que cet investissement initial est réalisé sur fond propre (sans effectuer d'emprunt). Si tel n'était pas le cas, il faudrait également prendre en compte la charge de l'emprunt. Si l'investissement initial correspondant au CGA optimum n'est pas réalisable, une isolation complète des parois au niveau « PEB 2014 » constitue le meilleur second choix.

En effet le second optimum est obtenu pour une isolation complète du bâtiment résidentiel existant selon les caractéristiques thermiques exigées en 2014. Un CGA de 10 000 € supérieur (sur une période d'évaluation de 30 ans) est observé par rapport à l'optimum de type passif, soit une différence de 30 €/mois.

A noter :

- Si les prix de l'énergie augmentent plus, la rénovation passive des logements existants en région wallonne deviendra un « must ».

- L'emprunt à 0 % (Ecopack) destiné aux ménages wallons désireux d'améliorer la performance énergétique de leur habitation par des travaux de rénovation, limite considérablement l'impact de la charge de l'emprunt évoquée ci-avant.

Bureaux/services

Les Figure 3 et Figure 4 combinent deux immeubles de bureaux existants pris comme bâtiments de référence.

La courbe verte pointillée qui apparaît sur chaque figure correspond au coût global actualisé du bâtiment de référence (appelé « base ») pour lequel aucune amélioration n'est effectuée.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustre le coût global actualisé en fonction du U global des enêtres. Pour chacune des courbes, on constate que le niveau de performances énergétiques optimal correspond aux performances thermiques exigées par la PEB en 2014, sans exceptions.

- En remplaçant uniquement les fenêtres : aucun optimum économique ne se dégage par rapport à la référence (le CGA de la référence est toujours inférieur)
- En remplaçant les fenêtres et en isolant le toit, l'optimum économique correspond aux performances thermiques de 2014
- En remplaçant les fenêtres et en isolant le toit et la façade par l'extérieur, l'optimum économique correspond aux performances thermiques de 2014
- En remplaçant les fenêtres et en isolant le toit et la façade par l'intérieur, l'optimum économique correspond aux performances thermiques de 2014
- En remplaçant les fenêtres et en isolant toute l'enveloppe (façade par l'extérieur et isolation par le dessus de la dalle de sol), l'optimum économique correspond vraisemblablement aux performances thermiques de 2014.
- En remplaçant les fenêtres et en isolant toute l'enveloppe (façade par l'intérieur et isolation par le dessus de la dalle de sol), l'optimum économique correspond aux performances thermiques de 2014.

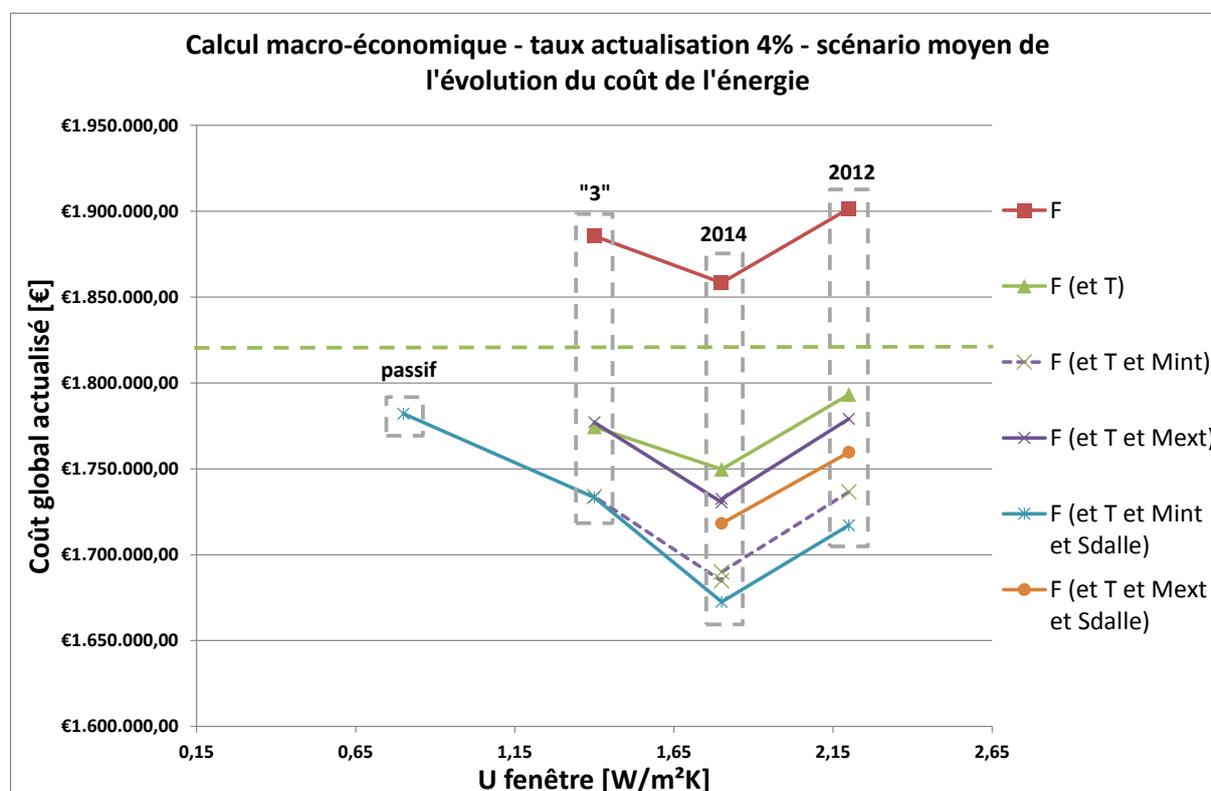


Figure 3 : coût global actualisé en fonction du U fenètre - Bureau existant GLOBAL

Selon le mode de calcul (macro-économique) et les hypothèses retenues en matière d'actualisation et d'évolution du prix de l'énergie, les exigences 2012 au niveau des U des parois (pour la combinaison FTMintSdalle) sont 2,7 % au-delà du CGA correspondant à l'optimum.

Cela étant, les caractéristiques thermiques fixées comme seuil d'exigence minimale à compter du 1^{er} janvier 2014, sont pleinement corroborées par cette étude et peuvent être anticipées dans tous les projets de rénovation d'immeubles de bureaux.

La Figure 4 illustre le coût global actualisé en fonction du U du toit. Pour chacune des courbes, on constate que l'optimum correspond aux performances thermiques 2014, sans exceptions. Les optima sont les mêmes que précédemment.

A noter que dans le cas des immeubles de bureaux, l'isolation de la toiture seule conduit à de très bons résultats en termes de performance énergétique et de coût global actualisé. Ceci se vérifie d'autant plus que la surface de toiture du bâtiment est relativement importante par rapport aux autres surfaces de déperditions.

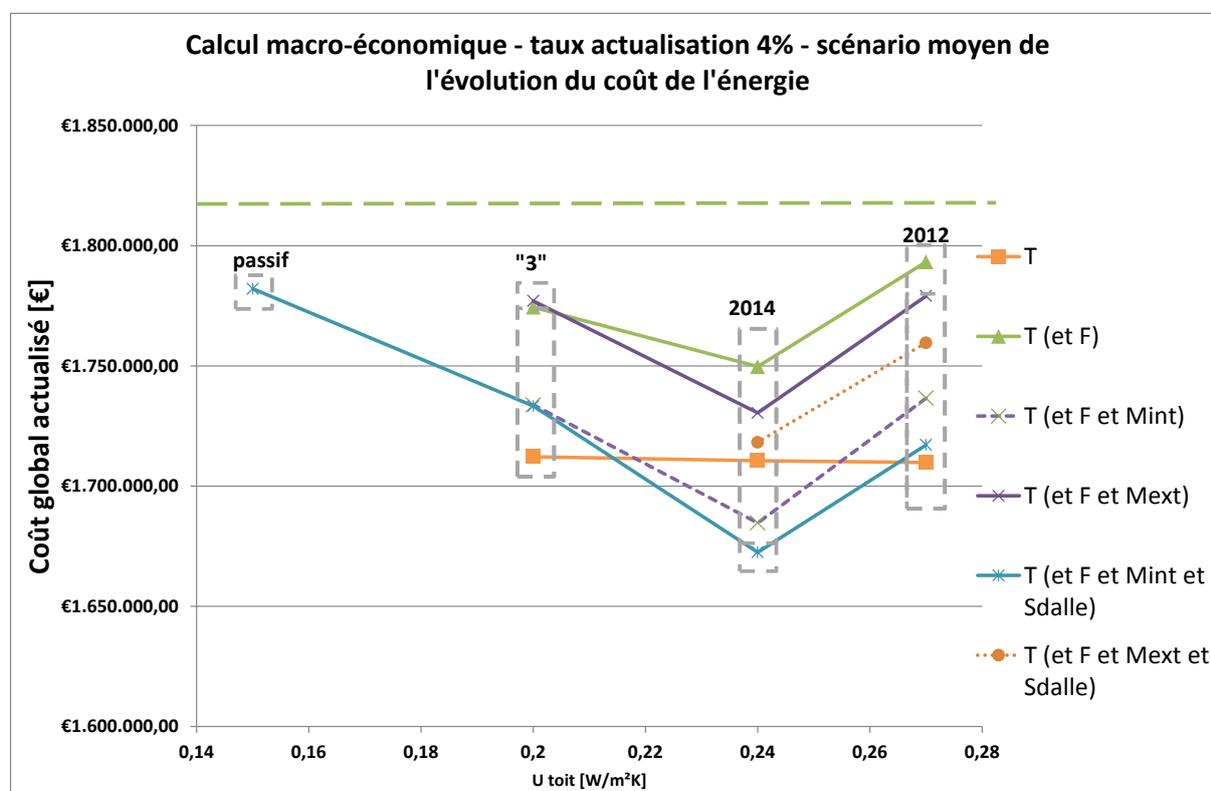


Figure 4 : coût global actualisé en fonction du U toit – Bureau existant GLOBAL

Ecoles

Les figures Figure 5 et Figure 6 combinent les deux bâtiments d'enseignement pris comme bâtiments de référence.

La courbe verte pointillée qui apparaît sur chaque figure correspond au coût global actualisé du bâtiment de référence (appelé « base ») pour lequel aucune amélioration n'est effectuée.

La Figure 5 illustre le coût global actualisé en fonction du U de la fenêtre. Pour chacune des courbes, on peut observer un optimum entre les (combinaisons de) mesures :

- Si seules les fenêtres sont remplacées, 'l'optimum' entre les différents niveaux d'exigences est « fenêtres 2014 », mais le CGA de chacune des mesures est supérieur à celui de la référence,
- Si les fenêtres sont remplacées et le toit isolé, 'l'optimum' entre les différents niveaux d'exigences correspond aux exigences caractéristiques de 2014 mais le CGA de cette combinaison est supérieur à celui de la référence
- Si les fenêtres sont remplacées, le toit et les murs isolés, l'optimum se situe au niveau des exigences caractéristiques de 2014. Le CGA de cette combinaison est inférieur de 6,7 % à celui de la référence
- Si l'ensemble du bâtiment scolaire est isolé, l'optimum correspond à une isolation de l'enveloppe selon les exigences caractéristiques de la PEB 2014. Le CGA de cette combinaison est inférieur de 6,5 % à celui de la référence.

Selon le mode de calcul (macro-économique) et les hypothèses retenues en matière d'actualisation et d'évolution du prix de l'énergie, l'optimum absolu est obtenu par un remplacement des fenêtres combiné avec une isolation du toit et des murs selon les performances thermiques de 2014 (pour un coût global actualisé de 791 369 € et un niveau K50).

Un second optimum, proche du premier, correspond à l'isolation complète du bâtiment selon les mêmes caractéristiques 2014. On observe une différence non significative de 3 654 € sur 30 ans entre ces deux optimum, soit 10 €/mois.

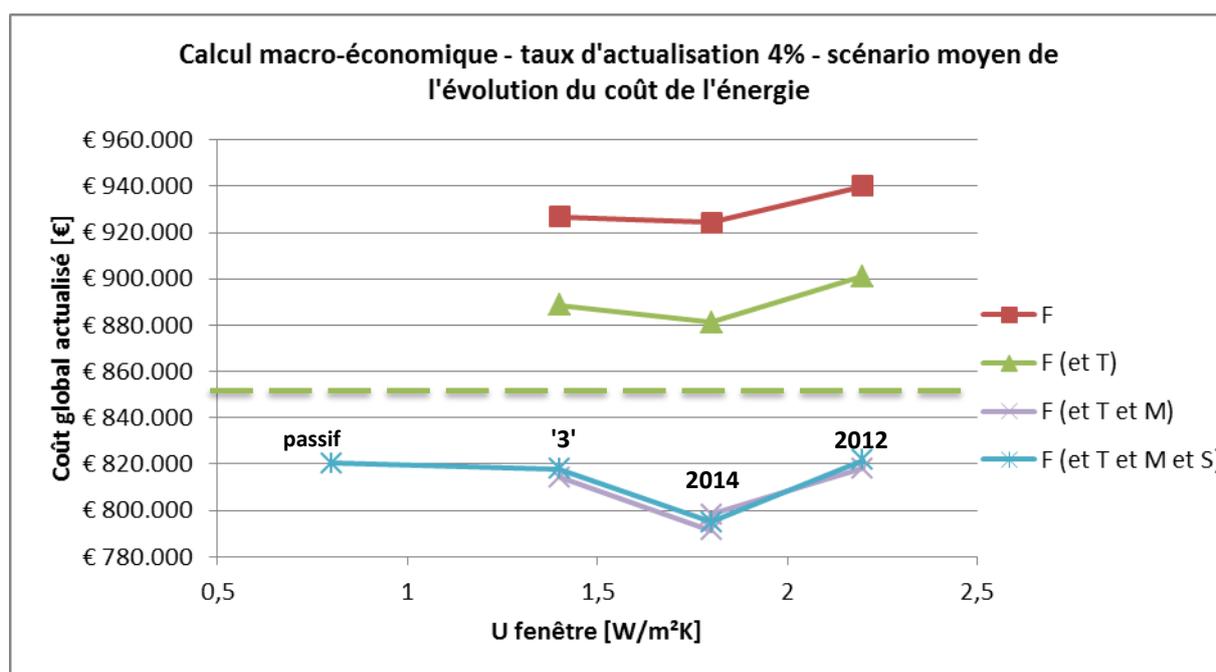


Figure 5 : coût global actualisé en fonction du U fenêtré – bâtiment d'enseignement existant GLOBAL

La Figure 6 illustre le coût global actualisé en fonction du U du toit. Pour chacune des courbes, on peut faire les observations suivantes à propos de l'identification de l'optimum:

- Si seul le toit est isolé, il n'y a pas d'optimum entre les niveaux d'exigences. Le coût global actualisé reste quasiment constant (et inférieur à celui de la référence).
- Si les fenêtres sont remplacées et le toit isolé, 'l'optimum' entre les niveaux d'exigences se situe au niveau des exigences caractéristiques de la PEB 2014, mais le CGA de cette combinaison est supérieur à celui de la référence.
- Si les fenêtres sont remplacées, le toit et les murs isolés, l'optimum correspond aux exigences caractéristiques de la PEB 2014.
- Si tout le bâtiment scolaire est isolé, l'optimum correspond au niveau d'isolation caractéristique des exigences de la PEB 2014.

Pour les bâtiments d'enseignement, l'optimum économique correspond donc aux caractéristiques de performance énergétique de la PEB 2014. Etant donné que ces exigences sont déjà fixées et seront d'application au 1^{er} janvier 2014 et que l'écart entre l'optimum et le niveau d'exigences de la PEB 2012 n'est que de 6,7 %, il n'est pas nécessaire de le justifier.

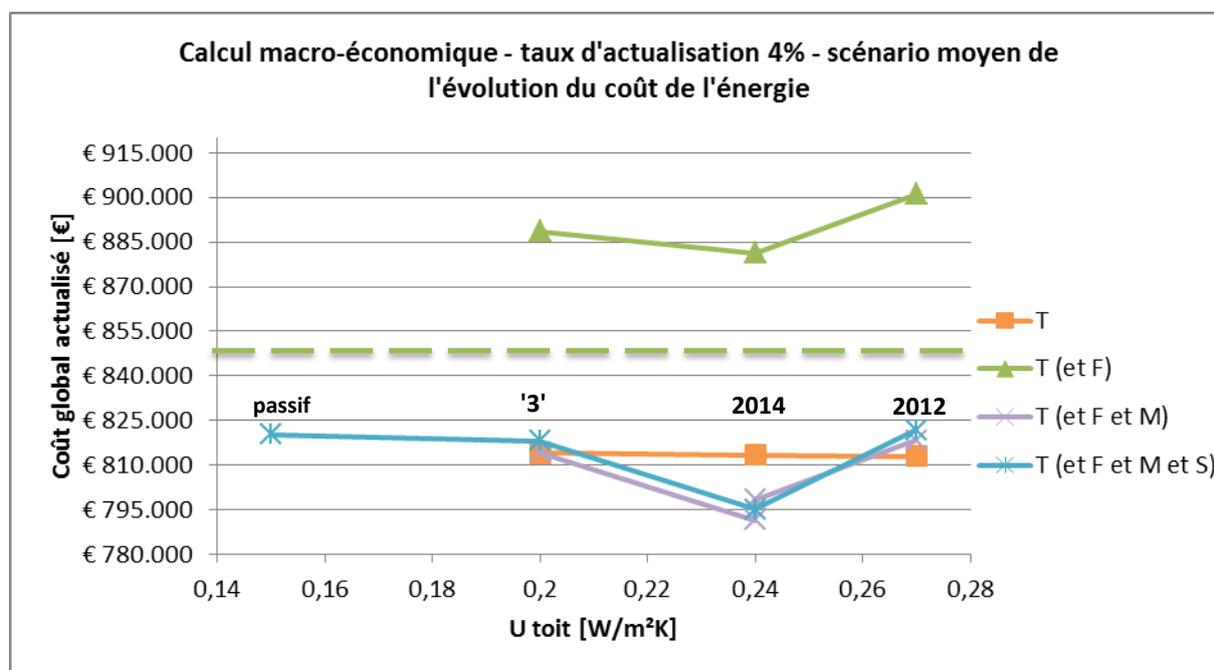


Figure 6 : coût global actualisé en fonction du U toit – bâtiment d'enseignement existant GLOBAL

Bâtiments neufs

Pour les bâtiments neufs, en plus des mesures d'amélioration liées à l'enveloppe du bâtiment, des variantes d'amélioration de la performance des systèmes mis en œuvre ont été analysées.

Le niveau de performance énergétique optimal est obtenu en calculant le coût global actualisé, représenté graphiquement en fonction de la consommation spécifique en énergie primaire (E_{spec} exprimé en kWh/m².an) et/ou du niveau E_w [-].

Pour les bâtiments neufs résidentiels, il s'agit de justifier la pertinence des exigences en termes de niveaux E_{spec} et du E_w . Pour les bâtiments tertiaires, seul le critère E_w et le niveau K sont d'application. Si l'optimum en coût global est inférieur de minimum 15% aux niveaux de performance imposés actuellement, il faut justifier l'écart et/ou revoir l'évolution programmée des niveaux d'exigences futurs et des mécanismes d'aide (primes,...) afin de tendre vers le CGA optimum.

Résidentiel

En région wallonne, les exigences actuelles pour les nouvelles habitations sont les suivantes : $E_{\text{spec}} < 130$ kWh/m².an, $E_w < 80$ et $K < 45$ (ainsi que des valeurs $U_{\text{max}}/R_{\text{min}}$ appliquées aux parois).

La courbe verte pointillée qui apparaît sur chaque figure correspond au coût global actualisé du bâtiment de référence. Ce bâtiment résidentiel « base » est isolé selon les caractéristiques thermiques imposée en 2012, offre une étanchéité à l'air de 4m³/h.m², et est équipé d'une chaudière au mazout (pour le chauffage et la production d'ECS) ainsi que d'un système de ventilation de type C.

Les figures Figure 7 et Figure 8 combinent des bâtiments de référence résidentiels neufs : deux maisons unifamiliales et un immeuble à appartements.

Sur la Figure 7, l'optimum correspond à un niveau E_{spec} de 112,6 kWh/m².an, soit bien en-deçà des 15% d'écart par rapport aux 130 kWh/m².an exigés dans la PEB 2012.

Cet optimum correspond à un bâtiment isolé conformément aux exigences de performances de 2014, offrant une étanchéité à l'air de 4m³/h.m², et équipé d'une chaudière à condensation au gaz (pour le chauffage et la production d'ECS) ainsi qu'un système de ventilation de type C+.

Sur la Figure 8, le niveau optimum E_w est de 65,55, soit plus de 15% d'écart par rapport au niveau 80 exigé dans la PEB 2012. Le niveau E_w exigé par la PEB 2012 pour les nouvelles constructions est 2,5 points trop haut par rapport à la marge de 15% d'écart par rapport à l'optimum.

On observe que les exigences au niveau du E_{spec} et du E_w d'une part et celles imposées aux U de parois d'autre part ne sont pas nécessairement alignées. En effet, en respectant strictement les impositions actuelles au niveau des caractéristiques thermiques des parois, il est souvent difficile d'atteindre le niveau E_w exigé, à moins de recourir à des systèmes HVAC très performants.

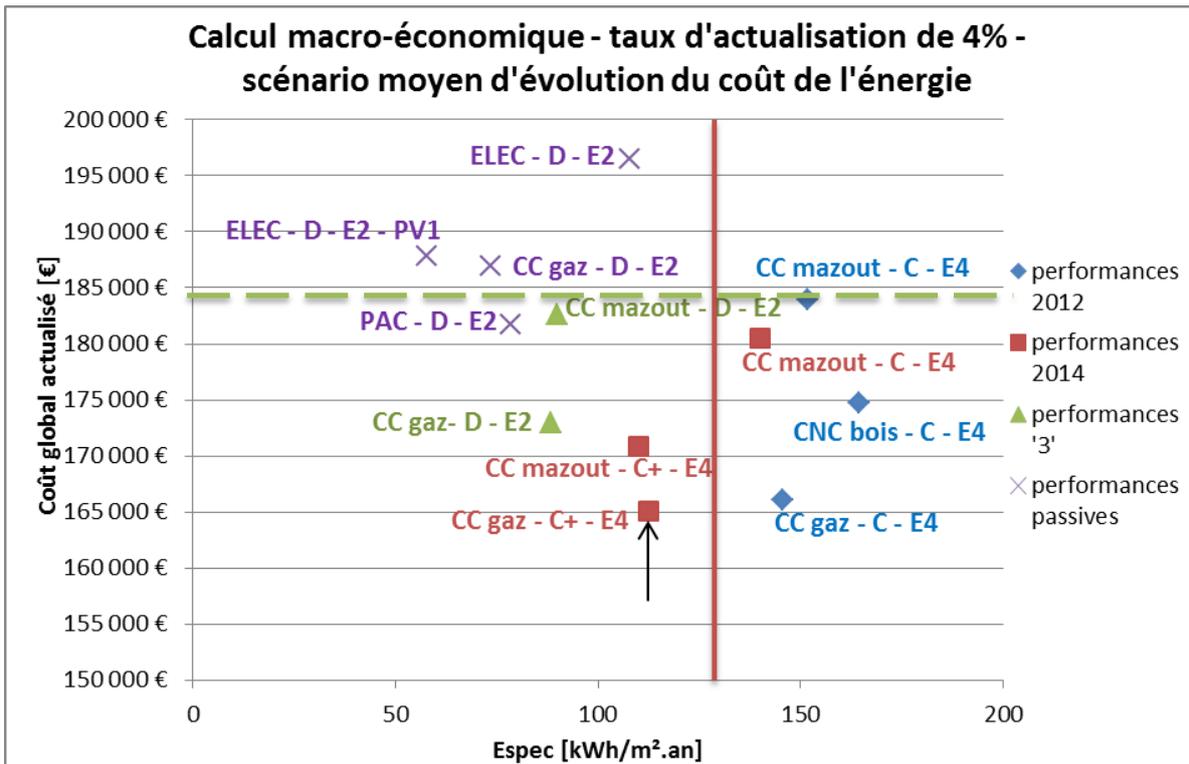


Figure 7 : coût global actualisé en fonction du Espec – résidentiel neuf GLOBAL

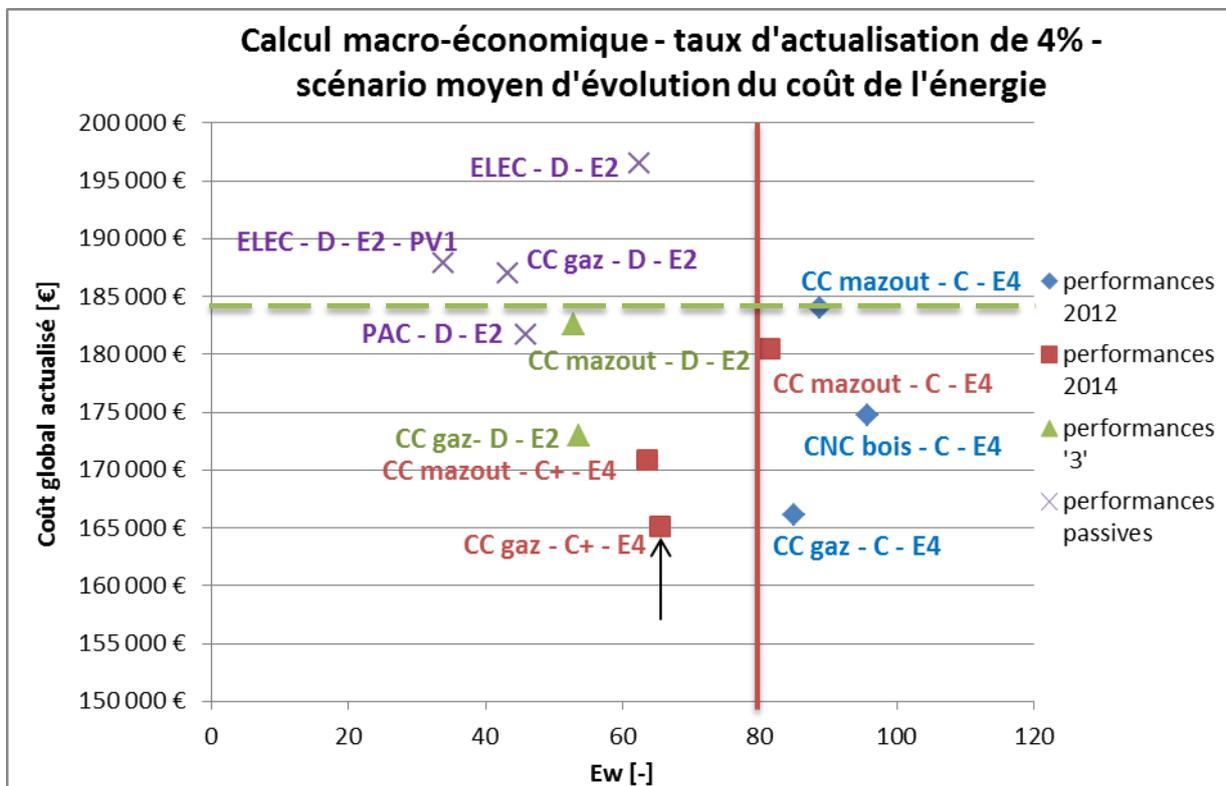


Figure 8 : coût global actualisé en fonction du Ew – résidentiel neuf GLOBAL

Bureaux/services

Un nouvel immeuble de bureaux et services doit satisfaire aux exigences portant sur les niveaux Ew et K ainsi qu'aux valeurs Umax/Rmin appliquées aux parois.

Les niveaux imposés par la PEB 2012 sont K45 et Ew80 ; les résultats de cette étude devront donc être justifiés si :

- L'optimum pour le niveau Ew est inférieur à 68 ou supérieur à 92
- L'optimum pour le niveau K est inférieur à 38 ou supérieur à 52

La courbe rouge sur la Figure 9 correspond au coût global actualisé du bâtiment de référence (appelé « base »).

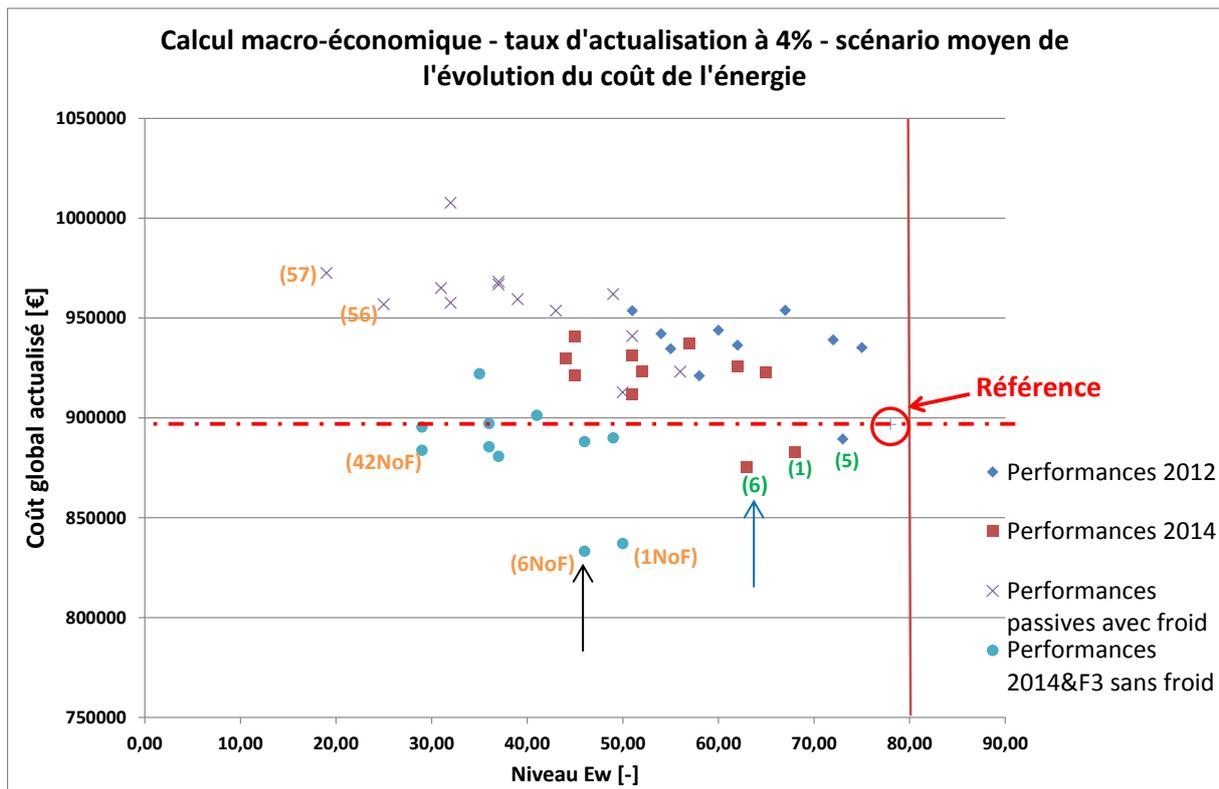
Sur la Figure 9, l'optimum économique correspond à une isolation des parois opaques selon les exigences caractéristiques de 2014, avec des vitrages solaires de type « F3 ».

Au niveau des systèmes, la combinaison optimale correspond à la mise en œuvre d'une chaudière à condensation au gaz, avec un récupérateur de chaleur, le diming de l'éclairage et des protections solaires intérieures manuelles. Le Ew obtenu est de 50 et le niveau K est de 33 pour un coût global actualisé de 833 196 €.

L'optimum est donc hors de la fourchette définie par les « guidelines » :

- le niveau K optimum (K33) est inférieur de 26,7% au niveau K réglementaire actuel (K45)
- le niveau Ew optimum (Ew 50) est inférieur de 37,5% au niveau Ew réglementaire actuel (Ew80).

Cependant, ces niveaux optima correspondent à une mesure/groupe/variante qui satisfait aux exigences de performances 2014 pour ses parois opaques, et au niveau d'exigence intermédiaire « F3 » pour ses fenêtres. Ce qui signifie que les performances « 2014 » qui seront d'application dans quelques mois, couplées à des systèmes HVAC performants, permettront d'atteindre des niveaux de performances proches de l'optimum.



Il est important de noter que cet optimum correspond au cas d'un bâtiment sans système de refroidissement (repéré « NoF » sur la figure 9).

Dans les bâtiments de bureaux et services où la réglementation en matière de protection des travailleurs est d'application, on ne pourra pas forcément courir le risque d'avoir des problèmes d'inconfort estival, une machine de froid sera par conséquent généralement installée, même si elle n'est pas strictement nécessaire.

Dans le cas où un système de production de froid est installé, l'optimum économique correspond à une isolation des parois selon les performances exigées pour l'enveloppe en 2014, sans vitrage solaire, avec protections solaires intérieures manuelles, diming, chaudière à condensation, récupération de chaleur et machine à compression de froid.

Le Ew atteint est alors de 63 et le niveau K est de 37 pour un coût global actualisé de 875 436€.

L'optimum est donc juste hors de la fourchette définie par les « guidelines » :

- le niveau K optimum (K37) est inférieur de 17,8% au niveau K réglementaire actuel (K45)
- le niveau Ew optimum (Ew 63) est inférieur de 21,3% au niveau Ew réglementaire actuel (Ew80).

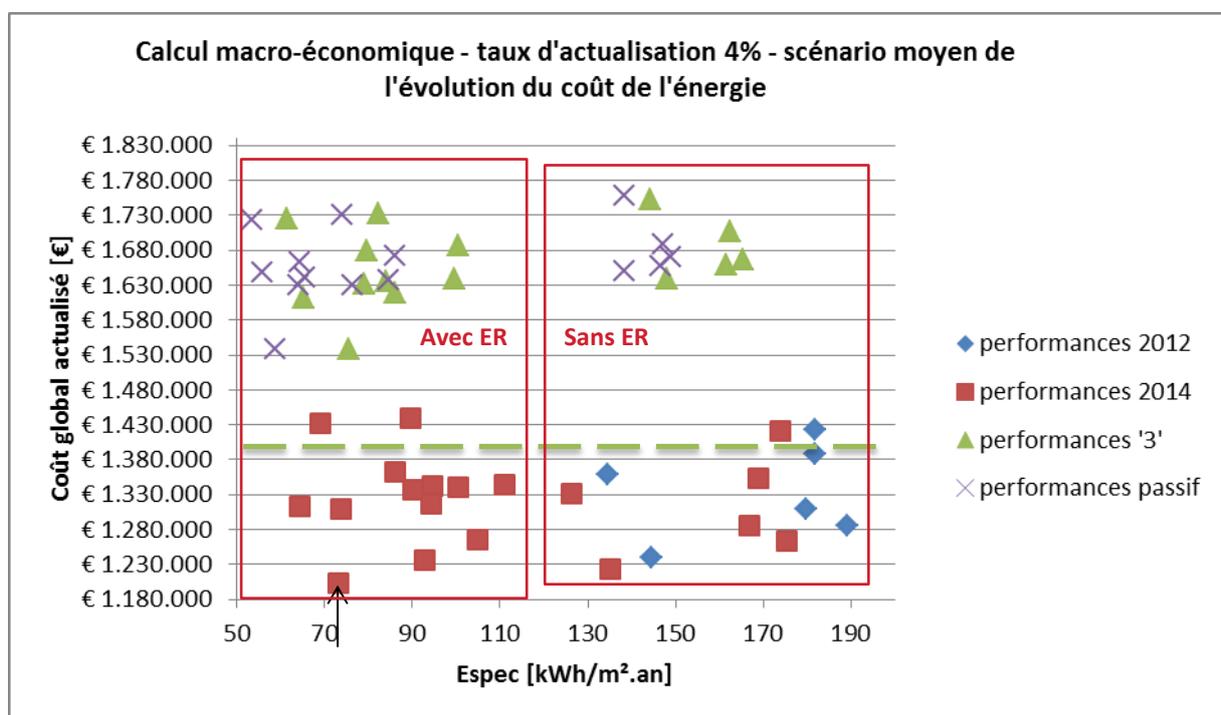
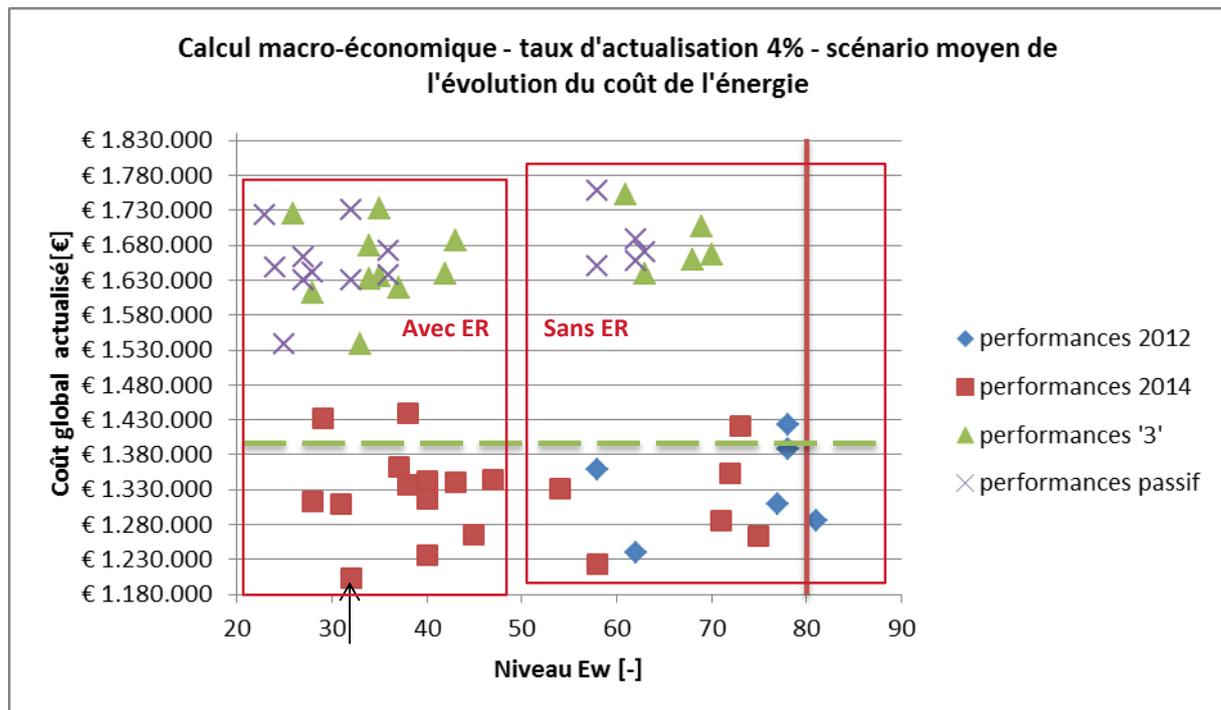
La même remarque peut être faite que dans le cas où aucun groupe de froid n'est installé.

Ecoles

Un nouveau bâtiment d'enseignement doit satisfaire aux exigences portant sur les niveaux Ew (niveau 80 exigé) et K (niveau 45 exigé) (ainsi que les valeurs U_{max}/R_{min} appliquées aux parois).

L'optimum absolu de la figure 10 ci-dessous est une école neuve bénéficiant de la combinaison des mesures suivantes : une enveloppe respectant les caractéristiques thermiques de 2014, une étanchéité à l'air de $4\text{m}^3/\text{h.m}^2$, un système de ventilation de type C, une PAC air/eau pour le chauffage, un éclairage performant (détecteurs de présence et diming en fonction de la disponibilité de l'éclairage naturel), de protections solaires mobiles intérieures et de panneaux photovoltaïques.

Le **Espec** correspondant est de **73,2 kWh/m².an** (figure 11), le **Ew= 32** et le niveau **K est de 36**.



L'optimum est donc hors de la fourchette définie par les « guidelines » :

- le niveau K optimum (K36) est inférieur de 20% au niveau K réglementaire actuel (K45)
- le niveau Ew optimum (Ew 32) est inférieur de 60% au niveau Ew réglementaire actuel (Ew80).

Le niveau optimum Ew est très bas comparé au niveau d'exigence actuel. C'est principalement dû à la présence de panneaux solaires photovoltaïques qui abaissent significativement le niveau Ew. En effet, pour le même bâtiment d'enseignement, sans panneaux photovoltaïques, le niveau Ew est alors de 58 (pour un Espec de 135 kWh/m².an). La consommation électrique de la pompe à chaleur et pour l'éclairage du bâtiment est « compensée » par la production d'électricité des panneaux en base annuelle. Dans ces conditions, l'investissement dans un système photovoltaïque pour des bâtiments d'enseignement serait donc très rapidement rentabilisé.

Sur la Figure 10, on observe une fois de plus que ce sont les caractéristiques thermiques exigées en 2014 qui, combinées à l'un ou l'autre équipement performant, permettent d'atteindre des optima économiques associés à des niveaux Ew relativement bas.

Conclusion générale de l'étude COZEB

De manière générale, les exigences au niveau des coefficients de transmission thermique (U) des parois imposées au 1^{er} janvier 2014 se situent dans la zone de coût global actualisé optimum.

Selon la méthode de calcul (macro-économique) et les hypothèses retenues en matière d'actualisation et d'évolution du prix de l'énergie (taux d'actualisation 4%, scénario moyen d'évolution du coût de l'énergie), les exigences actuelles « 2012 » ne sont pas suffisamment strictes. Cela étant, depuis l'entrée en vigueur de la réglementation sur la performance énergétique des bâtiments, les niveaux d'exigences évoluent rapidement en Wallonie, et tendront dès le 1^{er} janvier 2014 vers un niveau d'exigence global « optimal » en termes de coût global actualisé.

D'autre part, dans la plupart des cas, l'écart entre les coûts globaux actualisés des différentes (combinaisons de) mesures est relativement faible : il varie de 2 à 7% environ entre les solutions conformes aux exigences de la PEB 2012 et celles comprenant des mesures d'isolation typiques des logements passifs. Les courbes de CGA sont globalement assez plates et c'est l'échelle choisie qui permet le plus souvent de distinguer l'optimum.

Les exigences actuelles au niveau du Espec, du Ew et du K sont légèrement en deçà de l'optimum économique pour les bâtiments neufs.

On observe que le niveau Ew optimum pour les grands bâtiments, tels les immeubles de bureaux et les écoles, est inférieur d'environ 25% au niveau Ew 80 exigé actuellement.

Lors de l'analyse individuelle de chaque bâtiment de référence, on remarque dans certains cas que certaines mesures effectuées isolément (ex : remplacement des fenêtres) ou combinées affichent un coût global supérieur à celui du bâtiment de référence (« base »). Dans ces situations, même si on observe qu'une mesure-groupe-variante affiche un CGA plus faible par rapport aux autres, on ne peut pas à proprement parler, qualifier celle-ci d'optimum.

On observe que pour une habitation consommant peu d'énergie (E_{spec} réduit), l'augmentation du coût de l'énergie a peu d'impact sur le coût global actualisé. Pour se prémunir d'une augmentation du coût de l'énergie supérieure à celle considérée dans l'étude, il est justifié d'isoler l'enveloppe des bâtiments de manière poussée, voire jusqu'au niveau de performances thermiques communément associé à celui du standard passif dans le cas des bâtiments résidentiels. Une fois l'isolation effectuée, le recours aux énergies renouvelables telles que les systèmes solaires photovoltaïques et la biomasse se justifie pleinement.

De fait, pour les systèmes installés dans les nouvelles constructions, il est actuellement intéressant de mettre en œuvre des technologies « matures » (telles que des chaudières gaz à condensation) et moins chères à l'investissement.

Il est à remarquer que la méthode de calcul macro-économique (intégrant le coût de la tonne de CO₂ émise), profite également aux systèmes de chauffage alimentés par la biomasse, qui rejettent peu de CO₂.

La question de l'isolation supplémentaire versus un recours accru aux ER dépend d'un trop grand nombre de paramètres extérieurs à la présente étude pour se prononcer formellement.

Intuitivement, on peut affirmer que d'un point de vue environnemental, réduire les besoins en chaleur, en froid et en éclairage artificiel d'un bâtiment (considéré isolément des autres) est toujours plus intéressant que de produire l'équivalent de tout ou partie de sa consommation au départ de sources renouvelables (en vertu du principe du « Trias Energetica »).

Ceci est d'autant plus vrai que :

- La durée de vie des investissements structurels (isolation des parois) est 2 à 4 fois supérieure à celle des systèmes de production ER considérés
- La performance initiale des systèmes ER mis en œuvre est plus dépendante de la bonne maintenance (et du réglage correct) des installations en phase d'exploitation que les interventions sur le bâti (qui doivent cependant faire l'objet d'une mise en œuvre soignée)
- La production d'électricité verte est par nature intermittente (sauf pour les systèmes alimentés par la biomasse) et plus ou moins déphasée (selon l'affectation) par rapport à la consommation du bâtiment. Dans cette logique on peut dire que l'isolation d'un bâtiment NZEB *diminue* drastiquement sa consommation en chauffage, tandis que la production d'électricité verte d'origine solaire PV *compense* l'équivalent de sa consommation d'électricité grise, en base annuelle.

D'un point de vue financier, la perspective peut être très différente en fonction du coût initial des investissements considérés (isolation des parois VS système solaire PV), du CGA des investissements considérés et, le dernier mais pas le moindre, du niveau de soutien à l'investissement et/ou à la production des équipements considérés.

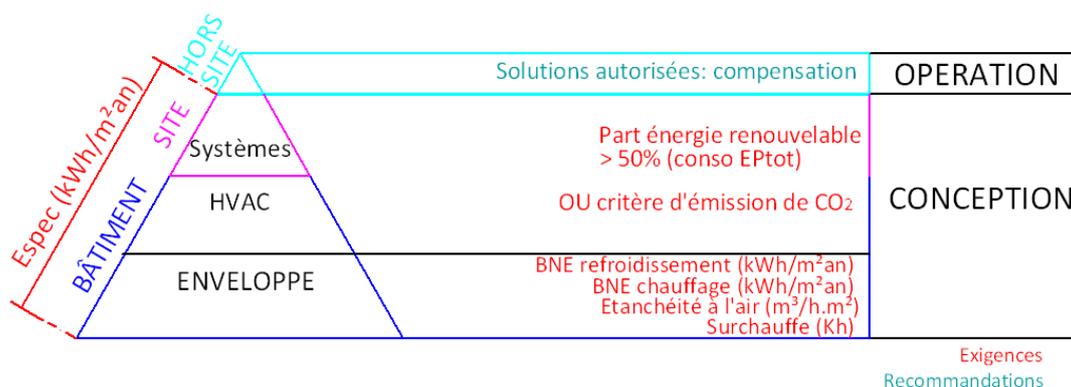
Pour terminer, il nous semble logique d'adapter les niveaux d'aides selon le bilan environnemental des différentes (combinaisons de) mesures envisagées dans l'étude, et non le contraire.

Annexe : Positionnement du NZEB par rapport à l'optimum de coût

1. Bâtiment résidentiel unifamilial

Détermination du seuil des différents critères NZEB

Un Nearly Zero energy Building est caractérisé au stade de sa conception par des performances énergétiques proches de celles du standard passif au niveau de l'enveloppe et une part de production d'énergie renouvelable égale ou supérieure à 50% de sa consommation globale d'énergie primaire, comme illustré dans la figure ci-dessous.



12 – Représentation graphique des critères NZEB

Le paragraphe suivant reprend les différents critères NZEB à vérifier pour les bâtiments résidentiels, qui sont définis dans le rapport « définition NZEB » de décembre 2012.

- BNE (chauffage) ≤ 15 kWh/m².an
- $v_{50} \leq 2$ m³/h.m²
- $E_{spec} \leq 55$ kWh/m².an
- % d'énergie renouvelable (ER) ≥ 50 %
- Emissions de CO₂ : ≤ 10 kgCO₂/m².an

BNE (chauffage) ≤ 15 kWh/m².an

Cette valeur est atteignable sous réserve d'une enveloppe très performante (parois performantes et faible débit d'infiltration / exfiltration) et de l'installation d'un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait.

Débit d'infiltration ≤ 2 m³/h.m²

Améliorer l'étanchéité à l'air du bâtiment en ayant, par exemple, un débit d'infiltration à 50 Pa (v_{50}) de 1 m³/h.m² permet de diminuer d'une bonne dizaine de % les BNE, mais ne diminue que de quelques % le Espece (2 à 3%).

Espece ≤ 55 kWh/m².an

A partir du moment où la production d'ER est possible, on sait descendre en-dessous des 50 kWh/m².an (même si on a recours à l'électricité pour le chauffage et l'ECS). Par contre, si la

production d'ER n'est pas possible, on se situe alors plutôt dans la tranche 50-60 kWh/m².an (sauf si on utilise une PAC pour l'ECS et le chauffage).

% ER ≥ 50%

Ce pourcentage de production d'énergie renouvelable doit être ≥ 50% pour qualifier tout type de bâtiment de « NZEB ».

Même si l'électricité est utilisée pour l'ECS et le chauffage, les **50%** ne sont pas impossibles à atteindre. Nous avons donc bien vérifié que ce critère pouvait être atteint.

L'utilisation d'une PAC pour le chauffage a un effet très positif sur cet indicateur (autant que 2000 W_c de PV et 6 m² de panneaux solaires thermiques, par ex.).

Dans le seul cas où un bâtiment ne peut **techniquement pas atteindre ce seuil**, on considère un indicateur alternatif relatif à la quantité de CO₂ émise par unité de surface (Ach) et par an. Ceci permet une certaine flexibilité aux concepteurs et permet par ailleurs de valoriser des ressources à faible contenu en carbone, en particulier le recours à la biomasse, pour l'approvisionnement en énergie du bâtiment.

CO₂ ≤ 10 kg/m².an

Il est important d'analyser ce critère quand il n'y a pas ou peu de production d'ER. A partir du moment où un système alimenté par la biomasse-énergie est utilisé pour le chauffage ou l'ECS, on peut descendre en-dessous de 9 kgCO₂/m².an (mais un chauffage au bois augmente un peu le Espec, de quelques % à 10%, par rapport à une chaudière à condensation, une PAC ou un système fonctionnant au gaz).

En combinant ce système pour l'ECS avec une chaudière à condensation pour le chauffage ou ce système pour le chauffage avec une combustion au GN pour l'ECS, on peut même descendre en-dessous de 8 kg CO₂/m².an.

Où se situe le bâtiment résidentiel NZEB dans l'analyse du coût optimum ?

Parmi les bâtiments résidentiels étudiés dans l'étude du coût optimum, nous avons choisi l'habitation MN2 pour analyser la situation de l'habitation aux caractéristiques NZEB par rapport à l'optimum économique. Pour rappel, MN2 est une maison mitoyenne, en ossature bois. L'Ach de l'habitation est de 110,09 m² et la surface de déperditions est de 198 m².

Certaines mesures-groupes-variantes étudiées pour cette habitation correspondent à un bâtiment résidentiel NZEB tel que défini dans le rapport « définition du NZEB ». Les critères qui doivent être respectés sont repris ci-dessus.

Les mesures-groupes-variantes 31 et 33 à 36 sont des habitations NZEB :

- **BNE (chauffage) ≤ 15 kWh/m².an**, c'est-à-dire 1651,35 kWh/an et donc 5944,86 MJ/an : toutes les variantes respectent ce critère, voir tableau 2
- **v₅₀ ≤ 2 m³/h.m²** : toutes les variantes ont une étanchéité à l'air de 2m³/h.m², voir tableau 1
- **E_{spec} ≤ 55kWh/m².an** : toutes les variantes respectent ce critère, voir tableau 2
- **% d'énergie renouvelable (ER) ≥ 50 %** : seule la variante 33 ne respecte pas ce critère. On peut alors considérer un indicateur alternatif relatif à la quantité de CO₂
- **Emissions de CO₂ ≤ 10 kgCO₂/m².an**, c'est-à-dire 1100,9 kg CO₂/an : la variante 33 (ainsi que les autres variantes) respecte ce critère

CAS	Groupe de mesures / variantes										
	Enveloppe					Système					
	parois transparentes	toiture	parois opaques	sol	Etanchéité	Chauffage	VE chauffage	ECS	Ventilation	Solaire Thermique	PV
31	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	E	E	E	D réc	-	PV1
33	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	Poêle	B	E	D réc	solTh2	-
34	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	Poêle	B	E	D réc	-	PV1
35	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	Poêle	B	E	D réc	-	PV2
36	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	Poêle	B	E	D réc	soTh1	PV1

Tableau 3 : mesures-groupes-variantes correspondants aux critères NZEB : caractéristiques de l'enveloppe et des systèmes installés

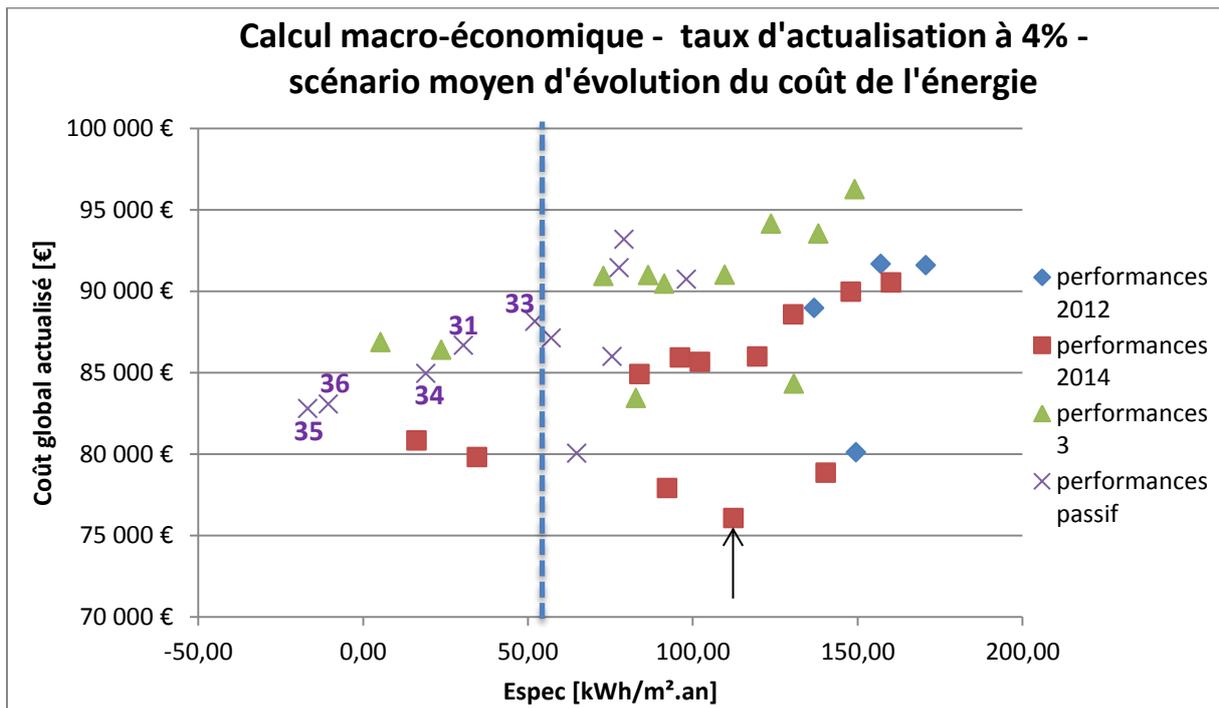
CAS	niveau K [-]	niveau Ew [-]	Niveau Espec [kWh/m ²]	BNE Chauffage [MJ]	conso totale EP [MJ]	prod ECS [MJ]	prod élec PV [MJ]	% ER	émission CO2 [kg]
31	19	20	30,4	5484,46	12048,62	0	26794,9	68,98	862,68
33	19	33	52,14	5736,88	20665,39	13665,6	0	39,81	780,12
34	19	12	19,01	5736,88	7536,02	0	26794,9	78,05	-159,9
35	19	-10	-16,78	5736,88	-6649,52	0	40980,5	119,4	-1176
36	19	-6	-10,55	5736,88	-4179,3	11715,3	26794,9	112,2	-998,8

Tableau 2 : mesures-groupes-variantes correspondant aux critères NZEB : résultats énergétiques

La Figure 13 représente les résultats du coût optimum, pour la maison MN2, en fonction du niveau Espec [kWh/m².an], pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie.

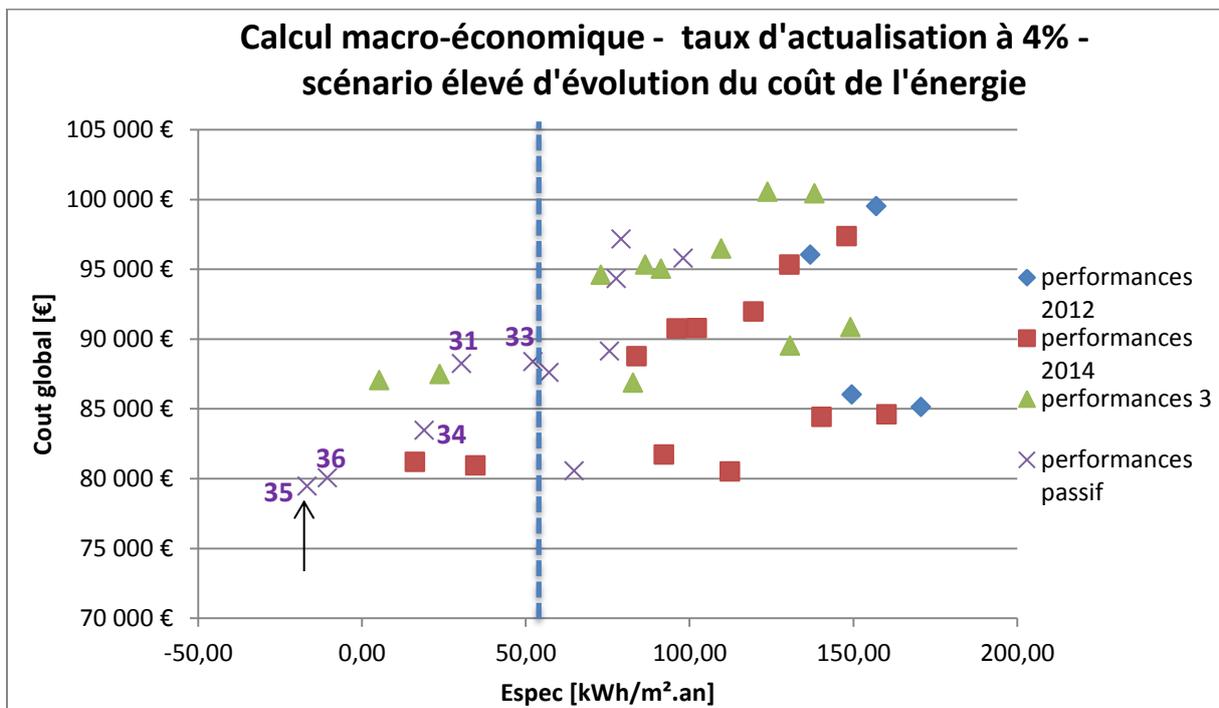
L'optimum économique, pointé pour l'étude coût optimum, correspond à une habitation isolée selon les caractéristiques de 2014 ; une étanchéité à l'air de 4m³/h.m², un système de ventilation de type C+ ainsi qu'une chaudière gaz à condensation pour la production d'ECS et pour le chauffage sont installés. (Espec=112,27 kWh/m².an, coût global actualisé = 76 064€)

Les variantes NZEB (31 et 33 à 36) se situent sous la barre des 55 kWh/m².an. La variante 35 présente le coût global actualisé le plus faible parmi ces 5 variantes : Espec= -16,78 kWh/m².an pour coût global actualisé = 82 806€. Cela représente une différence de 6 742€ par rapport à l'optimum économique, ou 18,72€ par mois sur 30 ans.



La **Figure 14** représente les résultats du coût optimum en fonction du niveau Espec [kWh/m².an], pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario **élevé** de l'évolution du coût de l'énergie.

L'optimum économique correspond à une variante NZEB, la variante n°35. Celle-ci présente le coût le plus faible: Espec= -16,78 kWh/m².an pour un coût global actualisé de 79 468€.



Les bâtiments résidentiels NZEB semblent donc être relativement proches du coût optimum voire même présenter le coût optimum lorsque le prix de l'énergie augmente de 3,5% l'an.

2. Immeubles à appartements résidentiels

Détermination du seuil des différents critères NZEB

Pour rappel, les critères à vérifier résultant du rapport « NZEB » sont les suivants :

- BNE (chauffage) ≤ 15 kWh/m².an ;
- $v_{50} \leq 2$ m³/h.m²;
- $E_{\text{spec}} \leq 55$ kWh/m².an;
- % d'énergie renouvelable (ER) ≥ 50 % ;
- Emissions de CO₂ : ≤ 10 kgCO₂/m².an.

BNE (chauffage) ≤ 15 kWh/m².an

Cette valeur est atteignable sous réserve d'une enveloppe très performante (parois performantes et faible débit d'infiltration / exfiltration) et de l'installation d'un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait.

Débit d'infiltration ≤ 2 m³/h.m²

La valeur max du critère v_{50} est fixée à 2 m³/h.m² pour les mêmes raisons que celles évoquées dans la partie résidentielle. Cette exigence est volontairement moins restrictive que le $n_{50} \leq 0,6$ vol/h imposé dans les bâtiments passifs, et ce, de manière à ne pas pénaliser des bâtiments qui peuvent être très performants sans avoir une étanchéité à l'air aussi poussée que dans le passif.

$E_{\text{spec}} \leq 55$ kWh/m².an

Sans production d'ER et sans prendre en compte la consommation de l'éclairage et de l'électroménager, le niveau E_{spec} tourne autour de 60-70 kWh/m².an selon les cas. Lorsque l'on intègre 10 m² de panneaux photovoltaïques par appartement (si une bonne orientation est possible), on passe assez rapidement sous la barre des 50 kWh/m².an.

% ER ≥ 50 %

En utilisant du photovoltaïque, si le bâtiment est orienté Sud, les 50% sont atteints avec moins de la moitié de la surface de la toiture lorsque qu'il n'y a pas de système de chauffage intégrant une source d'ER. L'ajout de 2 m² de panneaux solaires thermiques par appartement permet d'atteindre 60% de production d'ER.

CO₂ ≤ 10 kg/m².an

Lorsque le pourcentage d'ER n'est pas atteint (par exemple si 40% d'ER), le niveau d'émission de GES est de 5 kg CO₂/m².an pour un immeuble équipé de systèmes performants (chaudière gaz à condensation et ventilation double flux) et dont l'enveloppe est très performante (BNE de chauffage = 12 kWh/m².an). Le niveau E_{spec} est également inférieur à la limite imposée pour ce même bâtiment qui respecte donc les critères NZEB.

Pour un autre cas où il n'y a aucune production d'ER, le niveau d'émissions de GES est de 12 kg CO₂/m².an pour un E_{spec} de 65 kWh/m².an. Un effort sur l'enveloppe et les systèmes permet d'atteindre à la fois le niveau E_{spec} et le critère en CO₂.

La limite posée semble réaliste dans certains cas, alors que pour d'autres cas, elle ne paraît pas assez contraignante. Cependant, dans un souci d'uniformité, il est plus judicieux de s'aligner avec le niveau posé pour le résidentiel.

Où se situe l'immeuble à appartements NZEB dans l'analyse du coût optimum ?

Les résultats de l'immeuble à appartements neuf sont analysés en fonction des caractéristiques NZEB. Le coût des bâtiments potentiellement NZEB est ensuite comparé au coût optimum. Pour rappel, l'immeuble d'appartements comprend 4 niveaux et 6 appartements. Il est caractérisé par quatre façades libres en maçonnerie.

Parmi les mesures/groupes/variantes étudiées pour ce bâtiment, certaines correspondent à un bâtiment NZEB qui répond aux critères rappelés ci-dessus. Il s'agit des cas 20, 36, 57, 62 et 67.

Les mesures-groupes-variantes 20, 36, 57, 62 et 67 sont des immeubles d'appartements NZEB car ils respectent les caractéristiques suivantes :

- **BNE (chauffage) ≤ 15 kWh/m².an** : les cas 20 et 36 ne respectent pas ce critère ;
- **v₅₀ ≤ 2 m³/h.m²** ;
- **E_{spec} ≤ 55kWh/m².an** ;
- **% d'énergie renouvelable (ER) ≥ 50 %**, à l'exception des cas 20 et 36 ;
- **Emissions de CO₂ ≤ 10 kgCO₂/m².an**.

CAS	Groupe de mesures / variantes										
	Enveloppe					Système					
	parois transparentes	toiture	parois opaques	sol	Etanchéité	Chauffage	VE chauffage	ECS	Ventilation	Solaire Thermique	PV
20	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	CC P	M	CP	D réc	solTh1	PV1
36	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	CC P	GN	CP	D réc	solTh1	PV1
57	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	PAC S/E	E	CP	D réc	-	PV1
62	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	PAC A/E	E	CP	D réc	-	PV1
67	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	PAC A/A	E	CP	D réc	-	PV1

Tableau 4 : AN – mesures-groupes-variantes correspondants aux critères NZEB : caractéristiques de l'enveloppe et des systèmes installés

Les résultats de ces 5 cas sont repris dans le tableau ci-dessous :

CAS	niveau K [-]	niveau Ew [-]	Niveau Espec [kWh/m ²]	BNE Chauffage [MJ]	BNE Chauffage [kWh/m ² .an]	Conso. Totale EP [MJ]	Prod. Élec. PV [MJ]	% ER	émission CO2 [kg]	Emission CO2 [kg/m ² .an]
20	21	6	13,1	47963,18	19,32	47963,18	14775,13	40,04	2052,4	2,98
36	21	3	11,36	47114,5	18,98	47114,5	14775,13	40,09	325,76	0,47
57	21	0	8,43	29775,08	11,99	29775,08	14775,13	56,90	1469,64	2,13
62	21	3	10,3	34417,44	13,86	34417,44	14775,13	55,90	1802,04	2,61
67	21	3	10,97	36059,24	14,53	36059,24	14775,13	55,60	1919,58	2,78

Tableau 2 : AN – mesures-groupes-variantes correspondant aux critères NZEB : résultats énergétiques

La Figure 15 représente les résultats du coût optimum en fonction du niveau Espec [kWh/m².an], pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie. L'optimum correspond à un immeuble pourvu d'une chaudière sans condensation alimentée par la biomasse, d'une enveloppe respectant les caractéristiques thermiques de type passif, d'une étanchéité à l'air de 2 m³/h.m², d'un système de ventilation de type D avec récupération et de panneaux solaires photovoltaïques (Espec 27 kWh/m².an, un Ew= 18 et un niveau K de 21 pour un coût global de 419 754 €).

Les variantes NZEB (20, 36, 57, 62 et 67) se situent sous la barre des 55 kWh/m².an. La variante 57 expose non seulement le coût le plus faible parmi ces 5 variantes mais également le Espec le plus faible : Espec = 8,43 kWh/m².an pour coût global actualisé = 430 122 €. Cela représente une différence de 10 368 € par rapport à l'optimum économique, ou 28,8 € par mois sur 30 ans.

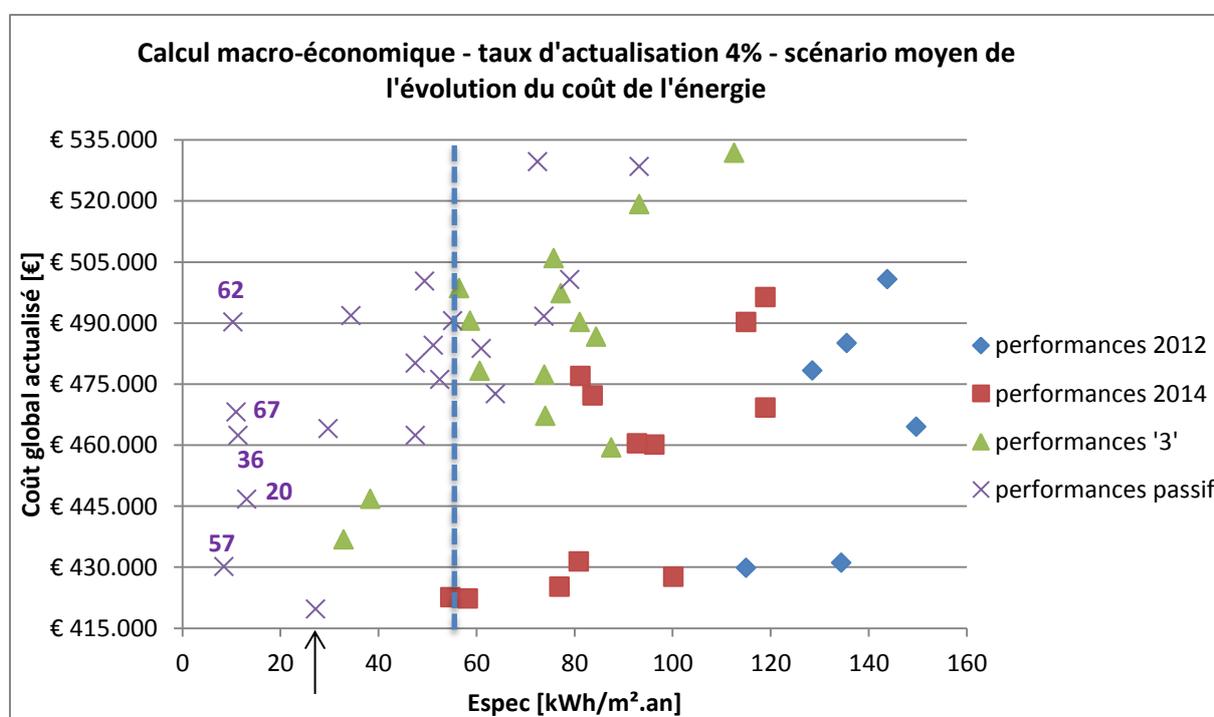


Figure 15 : AN – calcul macro-économique – taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé des mesures en fonction de Ew

La **Figure 16** représente les résultats du coût optimum en fonction du niveau Espec [kWh/m².an], pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario **élevé** de l'évolution du coût de l'énergie.

Le coût optimum est nettement marqué. L'immeuble correspondant à cet optimum est pourvu d'une chaudière non à condensation biomasse, une enveloppe respectant les caractéristiques inhérentes à 2014, une étanchéité à l'air de 4 m³/h.m² et d'un système de ventilation de type C+ (Espec 100 kWh/m².an, un Ew = 64 et un niveau K de 36 pour un coût global de 404 969 €).

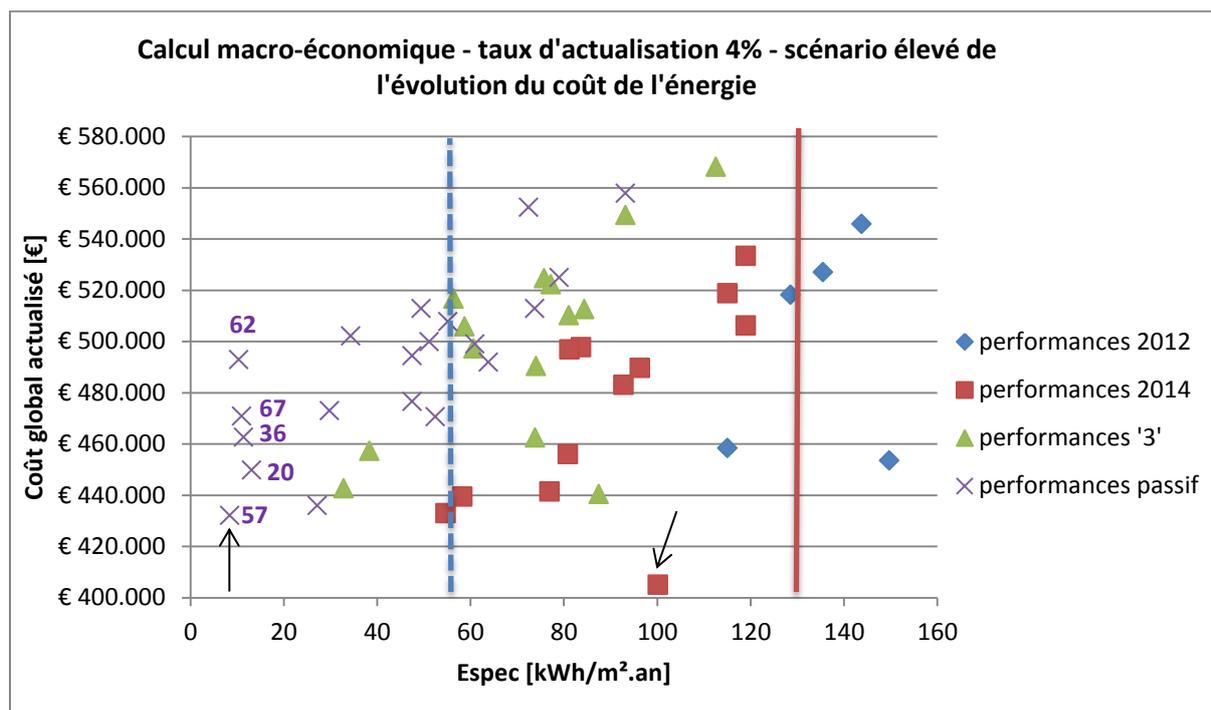


Figure 16 : AN –calcul macro-économique – taux d'actualisation 4% - scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé des mesures en fonction du Espec

Un second optimum peut être observé ; il s'agit du cas 57 (variante NZEB). Il présente un Espec = 8,43 kWh/m².an pour coût global actualisé de 432 037 €. La différence de coût global par rapport au premier optimum est de 27 068 €. Le tableau ci-dessous reprend le surcoût par rapport à l'optimum.

CAS	Surcoût global par rapport à l'optimum (404 969 €) [€]
20	44 733 €
36	57 650 €
57	27 068 €
62	87 842 €
67	65 886 €

Tableau 5 : AN – surcoût global par rapport à l'optimum [€]

Les bâtiments résidentiels « immeuble d'appartements » NZEB s'approchent du coût optimum au fur et à mesure que le prix de l'énergie augmente.

3. Bâtiment de bureaux et de services

Détermination du seuil des différents critères NZEB

Dans les immeubles de bureaux, les critères d'un bâtiment (neuf) quasi zéro énergie sont fixés comme suit :

- BNE (chauffage + refroidissement) ≤ 35 kWh/m².an
- $v_{50} \leq 2$ m³/h.m²
- $E_{spec} \leq 45$ kWh/m².an
- % d'énergie renouvelable (ER) ≥ 50 %
- Emissions de CO₂ : ≤ 10 kgCO₂/m².an

Où se situe l'immeuble de bureaux NZEB dans l'analyse du coût optimum ?

Le cas analysé, se rapprochant le plus des critères du bureau NZEB est le cas 45 affichant un K20 et un Ew 32

45	Opas	Fpas	Tpas	Spas	EM	E2	Dim	CC	RC	CF	PV50
----	------	------	------	------	----	----	-----	----	----	----	------

Ce cas a été modifié pour s'ajuster au mieux aux critères du bureau NZEB, à savoir :

- Ajout d'une ventilation nocturne pour diminuer les BNE froids
- Calcul plus détaillé de l'inertie thermique du bâtiment

Le cas 45 est comparé aux critères initiaux du bureau NZEB dans le tableau ci-dessous :

Critères bureau NZEB		Cas 45	
BNE chaud + BNE froid	< 35 kWh/m ² .an	BNE chaud	20,5
		BNE froid	15,2
Etanchéité	≤ 2 m ³ /h.m ²		2
E_{spec}	< 45kWh/m ² an		51,7
%ER	> 50		45
CO ₂ < 10 kg/m ²	critère alternatif si ER < 50%		5,6

Tableau 6 – Comparaison des critères NZEB et du cas 45 pour les bureaux et services

Le cas 45 modifié affiche un K20 et un Ew 24.

Les parois opaques affichent un U de 0,15 W/m²K

La production d'électricité verte d'origine PV est de 45% (proche du seuil minimum exigé pour un bureau NZEB).

A noter :

- Le surcoût lié à la ventilation nocturne n'est pas pris en compte dans le calcul ci-dessous (ce coût n'est pas standard dans le rapport transmis précédemment).
- Les simulations effectuées avec l'outil PEB peuvent s'écarter des performances 'réelles' du bâtiment considéré, d'autant plus que les niveaux de performance obtenus sont éloignés des performances règlementaires et/ou que les besoins en froid sont importants.

Le cercle mauve sur le graphique suivant situe le cas 45 modifié, soit environ :

- 61 000 € au-dessus de la référence (en coût global actualisé), soit 6% de plus
- 82 000 € au-dessus du bâtiment coût optimal avec production de froid (bureau neuf respectant les exigences 2014), soit 9 % de plus que l'optimum
- 125 000 € au-dessus du bâtiment coût optimal sans production de froid (bureau neuf respectant les exigences 2014), soit 15% de plus que l'optimum

Le cercle mauve en pointillés un peu à gauche du cercle mauve en traits pleins est une estimation du CGA du cas 45 modifié, compte tenu du surcoût (grossièrement estimé) de la ventilation nocturne.

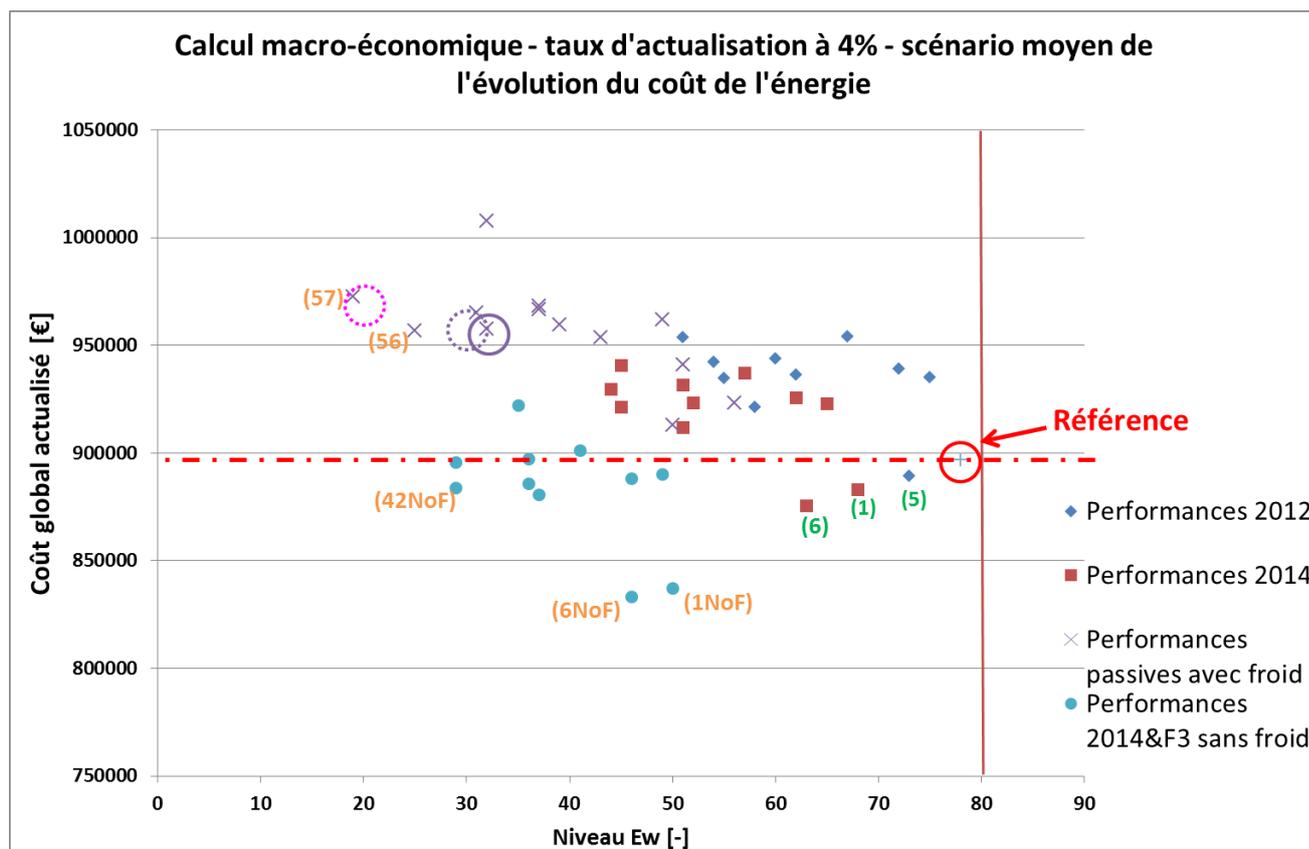


Figure 17 – Coût global actualisé en fonction du niveau Ew, calcul macro-économique, taux d'actualisation de 4%, scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie – identification du bureau NZEB

En guise de conclusion :

Dans le scénario de calcul macro-économique du CGA, avec un taux d'actualisation de 4% et une hausse du coût de l'énergie de 1,75% par an (hors inflation) :

- Le bureau coût optimum est actuellement celui qui satisfait aux exigences imposées en 2014 dans la PEB wallonne.
- Le CGA du bureau NZEB se situe environ 15% au-dessus du bureau optimum non climatisé, moins de 10% au-delà du bureau optimum climatisé et \pm 6% au-dessus du bureau de référence.

A l'échéance de 2018, on peut raisonnablement penser que le bureau NZEB sera plus proche de l'optimum économique exprimé en coût global actualisé. Cet optimum sera atteint plus tôt si les prix de l'énergie augmentent plus fortement (ex : hausse de 3,5% l'an) ou plus tard si les prix de l'énergie stagnent au cours des prochaines années (ex : hausse de 0% l'an).

4. Bâtiments destinés à l'enseignement

Détermination du seuil des différents critères NZEB

Un bâtiment NZEB doit répondre aux critères suivants :

- BNE (chauffage + refroidissement) $\leq 35 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$;
- $v_{50} \leq 2 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$;
- $E_{\text{spec}} \leq 45 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$;
- % d'énergie renouvelable (ER) $\geq 50 \%$;
- Emissions de CO_2 : $\leq 10 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2.\text{an}$.

BNE (chauffage + refroidissement) $\leq 35 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$

Initialement il était prévu de distinguer les exigences BNE de refroidissement et BNE de chauffage. Ces deux exigences étaient alors fixées à $15 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ (cf. exigences du passif). Cependant, selon les résultats obtenus, il semble que, dans certains cas, il est difficile d'atteindre des BNE de chauffage inférieurs à $15 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ malgré un niveau K relativement faible. Dans la majorité des cas, les BNE de refroidissement de $15 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ sont largement dépassés suite à certaines hypothèses de calcul (type d'encodage de l'éclairage, protection solaire ou non) et à la méthode d'évaluation des besoins de refroidissement (méthode vouée à être modifiée). Dans les bâtiments performants, on constate que les BNE en chaud et en froid fonctionnent selon le principe des vases communicants. Lorsqu'on réduit les besoins en chaud, les besoins en froid ont tendance à augmenter et vice versa. Ces deux types de besoins étant liés, il nous semble opportun de combiner ces deux exigences en une seule, de manière à laisser plus de flexibilité dans la conception du bâtiment. L'exigence combinée n'est pas fixée à $15+15 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ mais à $35 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$. Dans un des cas testés, le critère des BNE combinés est atteint.

Débit d'infiltration $\leq 2 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$

La valeur maximale du critère v_{50} est fixée à $2 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ pour les mêmes raisons que celles évoquées dans la partie résidentielle. Les simulations sur les bâtiments testés ont montré que passer d'une étanchéité à l'air de 2 à $1 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ avait peu d'impact sur la performance finale.

Espec $\leq 45 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$

Pour les cas testés, lorsque les 50% d'ER sont atteints, le niveau E_{spec} est proche mais inférieur à $45 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$. Nous pouvons donc conclure que cette exigence est réaliste lorsque les 50% d'ER sont atteints. Par contre, avec les systèmes choisis, une seule configuration permet d'atteindre le niveau E_{spec} avec une production d'ER inférieure à 50%. Si les critères relatifs à l'enveloppe sont améliorés, l'exigence E_{spec} peut être rencontrée dans un plus grand nombre de cas lorsque le pourcentage d'ER est inférieur à 50%.

% ER $\geq 50\%$

Selon les résultats, atteindre 50% de production d'ER semble également réaliste. Dans la plupart des cas, ce critère est satisfait lorsque l'on couvre moins de la moitié de la surface de toiture orientée sud de panneaux photovoltaïques. Aussi, selon les résultats, ce pourcentage d'ER s'équilibre en général avec le niveau E_{spec} (pour les cas testés, le niveau E_{spec} est proche de $45 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ lorsque le pourcentage d'ER est proche de 50%). Lorsqu'il y a une impossibilité technique de réaliser 50% de

production d'énergie renouvelable, on se base sur un critère alternatif d'émission maximale de CO₂.

CO₂ ≤ 10 kg/m².an

Les résultats pour les bâtiments d'enseignement et de bureaux ont montré que les émissions de GES étaient bien inférieures à 10 kg/m².an lorsque les autres critères étaient satisfaits. On remarque aussi que dans certains cas, lorsqu'aucun critère n'est atteint, et que les BNE de chauffage sont proches de 15 kWh/m².an, le critère d'émissions de GES est toujours respecté. A première vue, il semble que la limite imposée ne soit pas assez contraignante. Cependant, au vu de la variabilité des résultats, il semble préférable de conserver cette limite à 10 kg de CO₂/m².an qui paraît cohérente (cf. remarque), ce qui permet d'avoir un seuil d'émission de CO₂ commun aux bâtiments scolaires aux immeubles de bureaux et aux bâtiments mixtes (logement/bureaux).

NB : si les coefficients d'émission de CO₂ attribués à chaque vecteur énergétique sont modifiés dans l'avenir, cela remettrait en cause la limite imposée.

Où se situe l'école NZEB dans l'analyse du coût optimum ?

Certains résultats du bâtiment destiné à l'enseignement neuf répondent aux caractéristiques NZEB. Le coût des bâtiments NZEB est ensuite comparé au coût optimum. Pour rappel, le bâtiment neuf destiné à l'enseignement présente une volumétrie simple et trois niveaux.

Deux des mesures/groupes/variantes étudiés pour ce bâtiment correspondent à un bâtiment NZEB qui répond aux critères préalablement établis. Il s'agit des cas 53 et 53' dont les caractéristiques de l'enveloppe et des systèmes sont reprises dans le tableau ci-dessous.

CAS	Groupe de mesures / variantes										
	Enveloppe					Système					
	parois transparentes	toiture	parois opaques	sol	Etanchéité	Chauffage	VE chauffage	Protections solaires	Ventilation	Eclairage	PV
53	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	PAC A/E	E	Ext. motorisées	D réc	E2	PV2
53'	Fpas	Umurpas	Usolpas	Utoitpas	E2	PAC S/E	E	Ext. motorisées	D réc	E2	PV2

Tableau 7 : EN – mesures-groupes-variantes correspondants aux critères NZEB : caractéristiques de l'enveloppe et des systèmes installés

Les résultats de ces 2 cas sont repris dans le tableau ci-dessous :

CAS	niveau K [-]	niveau Ew [-]	Niveau Espec [kWh/m ²]	BNE Chauffage [MJ]	BNE Chauffage [kWh/m ² .an]	BNE refroidissement [MJ]	BNE refroidissement [kWh/m ² .an]	Prod. Elec. PV [MJ]	% ER	émission CO2 [kg]	Emission CO2 [kg/m ² .an]	
53	20	24	55,70	182388,33	17,23	84126,9	7,95	25,18	97321,75	51,6	9796,54	3,33
53'	20	23	53,37	157787,11	14,91	84126,9	7,95	22,86	97321,75	52,4	8035,1	2,73

Tableau 8 : EN – mesures-groupes-variantes correspondant aux critères NZEB : résultats énergétiques

L'ensemble des critères NZEB sont satisfaits à l'exception du niveau Espec qui dépasse le seuil de 45 kWh/m².an.

La **Figure 18** présente les résultats du coût optimum en fonction du niveau Ew [-], pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie. L'optimum est une école neuve bénéficiant des mesures suivantes : une enveloppe respectant les caractéristiques thermiques de 2014, une étanchéité à l'air de 4 m³/h.m², un système de ventilation de type C, une PAC air/eau, un éclairage performant (détecteurs de présence et diming en fonction de la disponibilité de l'éclairage naturel), des protections solaires mobiles intérieures et des panneaux photovoltaïques.

Le Espec est de 73,2 kWh/m².an, le Ew= 32 et le niveau K est de 36 pour un coût global de 1 203 577 €.

La variante NZEB 53 présente le coût le plus faible parmi les deux variantes NZEB : Espec = 55,70 kWh/m².an pour un coût global actualisé = 1 648 230 €, soit une différence de 444 653 € par rapport à l'optimum économique, ou 1 235,14 € par mois sur 30 ans.

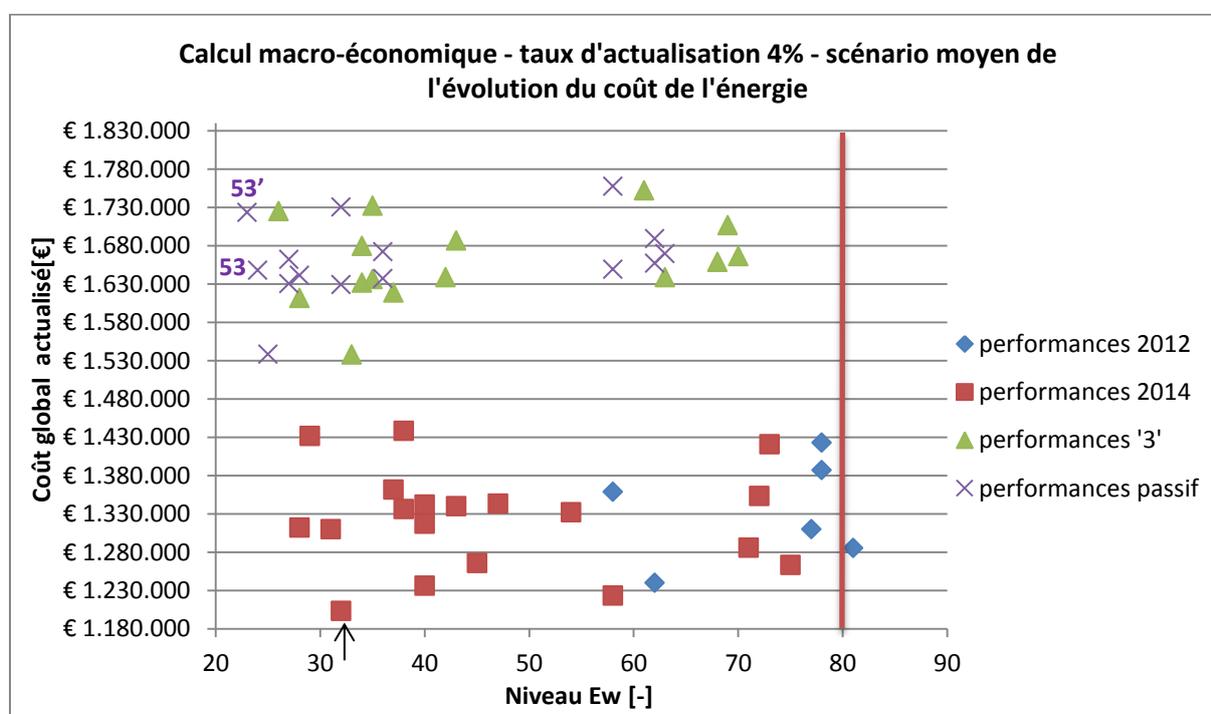


Figure 18 : EN – calcul macro-économique – taux d'actualisation 4% - scénario moyen de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé en fonction de Ew de mesures pourvues de quatre caractéristiques thermiques différentes

La **Figure 19** représente les résultats du coût optimum en fonction du niveau Espec [kWh/m².an], pour le calcul macro-économique, un taux d'actualisation de 4% et un scénario **élevé** de l'évolution du coût de l'énergie. L'immeuble correspondant à cet optimum est identique à celui du graphique précédent. Son coût global actualisé s'élève à 1 233 201,5 €.

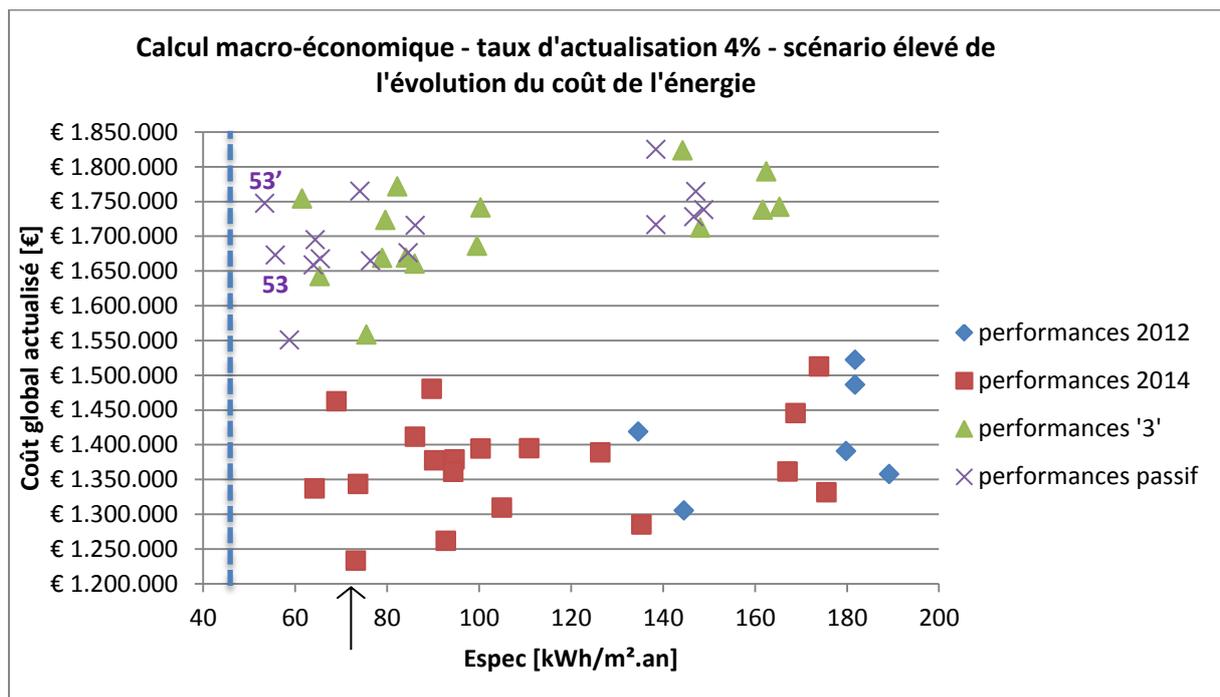


Figure 19 : EN –calcul macro-économique – taux d'actualisation 4% - scénario élevé de l'évolution du coût de l'énergie : coût global actualisé des mesures en fonction du Espec

Le tableau ci-dessous reprend le surcoût global par rapport à l'optimum.

CAS	Surcoût global par rapport à l'optimum (1 233 201,5 €)
53	439 536,8 €
53'	513 867,9 €

Tableau 9 : EN – surcoût global par rapport à l'optimum